

MEDDELANDEN
FRÅN
STATENS
SKOGSFÖRSÖKSANSTALT

HÄFTE 19. 1922

MITTEILUNGEN AUS DER
FORSTLICHEN VERSUCHS-
ANSTALT SCHWEDENS

19. HEFT

REPORTS OF THE SWEDISH
INSTITUTE OF EXPERIMENTAL
FORESTRY

No 19

BULLETINS DE LA STATION DE RECHERCHES
DES FORÊTS DE LA SUÈDE

No 19



REDAKTÖR:
PROFESSOR GUNNAR SCHOTTE

INNEHÅLL.

	Sid.
Redogörelse för Skogsförsöksanstaltens verksamhet under fyra- årsperioden 1918—1921 jämte förslag till arbetsprogram (Bericht über die Tätigkeit der forstlichen Versuchsanstalt während der Periode 1918—1921; Account of the work at the institute in the period 1918—1921).	
I. Gemensamma angelägenheter (Gemeinsame Angelegenheiten; Common Topics) av GUNNAR SCHOTTE	1
II. Skogsavdelningen (Forstliche Abteilung; Forestry division) av GUNNAR SCHOTTE.....	8
III. Naturvetenskapliga avdelningen (Naturwissenschaftliche Abtei- lung; Botanical-geological division) av HENRIK HESSELMAN ...	27
IV. Skogsentomologiska avdelningen (Forstentomologische Abteilung; Entomological division) av IVAR TRÄGÅRDH.....	33
V. Avdelningen för föröngningsförsök i Norrland (Abteilung für Verjüngungsversuche in Norrland; Division for afforestation pro- blems in Norrland) av EDVARD WIBECK.....	38
VI. Skogsteknologiska undersökningar (Forsttechnologische Unter- suchungen; Researches in forest technology) av GUNNAR SCHOTTE	60
VII. Sammanfattning av arbetsprogrammet för åren 1922—1926	66
Zusammenfassung des Arbeitsprogrammes für die Jahre 1922 —26	71
Summary of the programme of the Swedish State Institute of Experimental Forestry for the period 1922—26	75
Framställningar rörande avdelningen å extra stat för föröng- ningsförsök i Norrland. (Unterbreitungen die Abteilung für Verjüngungsversuche in Norrland betreffend; Proposals regarding the Division for afforestation problems in Norrland).	
I. Underdånigt förslag från vissa skogsbolag	79
II. Underdånig framställning från vissa skogsmän m. fl.	81
III. Utlåtande av chefen för Statens Skogsförsöksanstalt den 25 oktober 1921	85
IV. Yttrande av försöksledaren.....	107
V. Förnyat yttrande av chefen för Skogsförsöksanstalten	116
ROMELL, LARS-GUNNAR: Luftväxlingen i marken som ekolo- gisk faktor	125
Die Bodenventilation als ökologischer Faktor	281

	Sid
TRÄGÅRDH, IVAR: Skogsentomologiska bidrag I	361
Forstentomologische Beiträge I	382
TAMM, OLOF: Om bestämning av de oorganiska komponenterna i markens gelkomplex. En metod för studier av brunjorden och dess degeneration	385
Eine Methode zur Bestimmung der anorganischen Komponenten des Gelkomplexes im Boden	387
ROMELL, LARS-GUNNAR: Hänglavar och tillväxt hos norrländsk gran	405
Bartflechten und Zuwachs bei der norrländischen Fichte	439
SPESSIVTSEFF, PAUL: Bestämningstabell över svenska barkborrar	453
Bestimmungstabelle der schwedischen Borkenkäfer	
SCHOTTE, GUNNAR: Om snöbrottsfaran vid mycket starka gallringar.....	493
Sur le danger de dégâts de neige après de très fortes éclaircies	515
MATTSSON-MÄRN, L.: Snötryckskador å ungtall.....	517
Dégâts de neige chez des jeunes pins sylvestres	527
Redogörelse för verksamheten vid Statens Skogsförsöksanstalt under år 1922. (Bericht über die Tätigkeit der Forstlichen Versuchsanstalt Schwedens im Jahre 1922; Report about the work of the Swedish Institute of Experimental Forestry.)	
I. Skogsavdelningen (Forstliche Abteilung; Forestry division) av GUNNAR SCHOTTE	529
II. Naturvetenskapliga avdelningen (Naturwissenschaftliche Abteilung; Botanical-geological division) av HENRIK HESSELMAN	538
III. Skogsentomologiska avdelningen (Forstentomologische Abteilung; Entomological division) av IVAR TRÄGÅRDH	540
IV. Avdelning för förnygringsförsök i Norrland (Abteilung für die Verjüngungsversuche in Norrland; Division for afforestation problems in Norrland) av EDVARD WIBECK	542



LUFTVÄXLINGEN I MARKEN SOM EKOLOGISK FAKTOR.

FÖRORD.

Gasutbytet mellan atmosfären och det översta markskiktet bör ur två synpunkter vara av ekologiskt intresse. Å ena sidan behöva även i jorden levande organismer och organ syre för sin andning och producera i stället kolsyra. Tillförseln av syre till de biologiskt aktiva markskikten liksom borttransporten av den bildade kolsyran, vilken i för höga koncentrationer kan verka giftigt, kan därför vara en ekologisk faktor för dessa organismer. Å andra sidan är kolsyran näst vattnet de gröna växternas viktigaste näringsämne, som visserligen finnes i absolut taget stora kvantiteter i lufthavet, men i ringa koncentration. Det är därför på förhand ej osannolikt att kolsyreavgivningen från marken kan spela en roll för de gröna växternas kolsyrehushållning. Åtskilliga från lantbruksbotaniskt håll framförda fakta tala även för att så är fallet, och en nyligen utkommen avhandling av LUNDEGÅRDH bekräftar detta i så måtto, att den visar hur den från marken avgivna kolsyran har en fundamental betydelse för vissa växter i skogens markvegetation. Skogens värsta kolsyreslukare äro ju emellertid skogsträden själva, och deras kolsyrehushållning är ett stort och fundamentalt, ännu obearbetat skogsekologiskt problem.

I föreliggande avhandling ses gasutbytet mellan marken och atmosfären endast från den förstnämnda, man skulle kunna säga negativa sidan. Synpunkten är alltså att söka utreda, i vad mån de värden av syrebrist resp. kolsyreöverskott, som man påträffar i jordluften, kunna antas vara skogligt-ekologiskt betydelsefulla, framför allt i vårt land. Såväl ur praktisk som rent vetenskaplig synpunkt har det emellertid ansetts lämpligt att även söka utreda dessa värden beroende av i förhållande till dem primära och lättare iakttagbara faktorer, och därav har redan nu en utredning angående gasutbytet och dess mekanik blivit påkallad, enär en något så när tillfredsställande dylik förut ej presterats. Såväl för att denna utredning ej skulle svälla ut oproportionerligt — den har blivit nog lång ändå — som även ur arbetsekonomisk synpunkt har det emellertid ansetts bättre att vänta med en del detaljarbete, som

för den föreliggande undersökningen kunde undvaras, och i stället utföra detta i sammanhang med den undersökning över kolsyrebalansen i skogen, som speciellt efter LUNDEGÅRDHS arbete måste anses påkallad och som upptagits på Skogsförsöksanstaltens program. Jag avser med detta tillsvidare uppskjutna detaljarbete en jämförande undersökning av kolsyreavgivningen från olika marker, som i förening med markluftanalyser skulle kunna ge ett mått på genomluftningens styrka. I föreliggande avhandling meddelas endast ett par orienterande dylika bestämmningar.

Den föreliggande undersökningen bör alltså anses som ett led i en större, som omfattar hela problemet om gasutbytet mellan marken och luften, betraktat från skogligt ekologisk synpunkt, både den positiva och negativa sidan därav, som vi nyss formulerade saken. Jag skulle rent av velat titulera avhandlingen »Markens gasutbyte med luften från skogligt ekologisk synpunkt, I» eller något dylikt. Jag har ej gjort det, därför att spåren förskräcka: av doktorsavhandlingar med dylika titlar kommer som bekant andra delen ofta ej ut.

Av så att säga pedagogiska skäl har den i naturvetenskapliga publikationer övliga ordningen frångåtts såtillvida att en rätt brett lagd diskussion över frågans allmänna läge föregår redogörelsen för huvudparten av de experimentella resultaten och den härigenom rätt kortfattade detaljdiskussionen på grundval av dessa. Jag har nämligen ansett nödigt att reda upp hela frågan, som i den hittills föreliggande litteraturen såvitt jag vet ej fått någon genomtänkt, sammanfattande behandling (CLEMENTS' stora sammanfattande arbete 1921 är så gott som enbart litteraturrefererande och inlåter sig knappt på några diskussioner). Jag har då vidare ansett lämpligt att ta denna utredning först, så att läsaren vid studiet av mina experimentella siffror måtte ha bakgrunden klar.

Måhända skall någon finna, att den allmänna diskussionen ofta rör sig med lantbruksvetenskapliga erfarenheter i större utsträckning än som är brukligt och passande i en skoglig publikation. Att agrikulturella data tagits till råds i så pass stor utsträckning som skett beror helt enkelt därpå, att det på viktiga punkter finns av jordbruksforskare samlat exakt kunskapsmateriel, medan motsvarande data från skogsvetenskapligt håll saknas.

Avhandlingen framträder vidare i ett ovanligt skick såtillvida att den delvis är tryckt på svenska, delvis på tyska. Detta har ej skett av pedagogiska skäl, utan rätt och slätt av ekonomiska och praktiska. Den vanliga ordningen i Statens Skogsförsöksanstalts Meddelanden är att efter huvudavhandlingen i korpus på svenska följer en resumé i borgis på ett av de tre världsspråken. Nu är saken den, att jag beträffande

avd. II, gasutbytets mekanik, ej kan åta mig att lämna en resumé, avsevärt kortare än huvudframställningen och med bibehållen begriplighet. Den vanliga ordningen skulle då medfört, att denna avdelning i Meddelandena tryckts in extenso två gånger på olika språk. Då avdelningen i fråga knappt torde läsas av andra svenskar än sådana som förstå tyska, beslöts på prof. HESSELMANS förslag att i stället trycka den endast på detta språk. I Meddelandena återfinnes avdelning II därför in extenso i den tyska borgisavdelningen, och på dess plats i huvudavhandlingen meddelas endast i några korta punkter de resultat som utredningen givit. I separatupplagan utan resumé står avd. II på sin plats i avhandlingen, blott med borgis och på tyska i stället för med korpus och på svenska. Pagineringen inom [] är lika i båda upplagorna. I Meddelandena finnes sålunda i den svenska textens paginering en lucka, i vilken avd. II passar in.

I samband med de studier, vilkas resultat framläggas här nedan, har jag på ett eller annat sätt rönt hjälp av en hel del personer, till vilka jag här vill framföra mitt erkännssamma tack. Främst gäller detta tack min chef, vän och läromästare, prof. H. HESSELMAN, som givit mig undersökningen att sköta som tjänsteåliggande och städse under dess fortgång bistått mig med råd, upplysningar och kritik. När och i vad mån även idéerna äro hans eller någon annans utom mina egna, framgår detta av texten i avhandlingen. Därefter vill jag tacka min chef, professor G. SCHOTTE samt mina kolleger, fil. lic. C. MALMSTRÖM, docent O. TAMM och jägmästare S. PETRINI, med vilka jag till undersökningens båtnad haft tillfälle diskutera diverse frågor. För upplysningar och anvisningar har jag vidare att tacka: e. o. statsmeteorologen T. BERGERON, professor E. HENNING, docent E. HOLM, professor A. KROGH, Köpenhamn, docent H. LUNDEGÅRDH, Lund, skogsförvaltare E. C. MADSEN, Övedskloster, kronojägare T. B. NILSSON, Våxtorp, byråchef J. W. SANDSTRÖM, docent S. D. WICKSELL, Lund, förste aktuarien J. ÖSTLIND och statsmeteorologen C. J. ÖSTMAN. Vid det tråkiga och besvärliga arbetet med hopskaffandet av litteraturen har mycket arbete sparats mig genom biblioteksamanuensens, H. AMÉEN, förekommande hjälpsamhet. Fröken AMÉEN har dessutom varit nog vänlig att hjälpa mig med renskrivningen av litteraturförteckningen. Docent O. TAMM har välvilligt läst ett korrektur.

INNEHÅLL.

AVD. I. DE BIOLOGISKT VIKTIGA MARKSKIKTENS SYRE- OCH KOLSYRE- HUSHÅLLNING	131	[7]
KAP. 1. Markluftens sammansättning, medeltal och extremer, enligt tidigare undersökningar	131	[7]
KAP. 2. Växlingarna i markluftens sammansättning	132	[8]
Årlig variation — Hastig variation. — Variation med lokalen. — Olika djup.		
KAP. 3. Orsaker till växlingarna i markluftens sammansättning	135	[11]
KAP. 4. Oxidationsprocesserna i jorden	136	[12]
Sterilisationsförsök. — Markens syrekonsumenter och kolsyreprodu- center. — Biologiska orsaker till markluftens variationer.		
KAP. 5. Kolsyreproduktionens belopp	141	[17]
Kolsyreproduktion i kulturjordar. — Kolsyreproduktion i skogsjord.		
KAP. 6. Gasutbytets livlighet, bedömd med ledning av kolsyrepro- duktionen och förrådet av kolsyra	147	[23]
Åker. — Bokskogsmark. — Markkolsyran och atmosfären. — Syre- transporten. — Slutsatser.		
AVD. II. GASUTBYTETS MEKANIK	151	
KAP. 7. Vergleich der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Fak- toren	287	[27]
A. Temperatur	290	[30]
Die tägliche Schwankung. — Die jährliche Schwankung. — Stär- kere Erwärmung des Bodens gegenüber der Luft.		
B. Luftdruck	300	[40]
Periodische und unperiodische Schwankung. — Mikrobarische Variationen. — Lokale Differenzen.		
C. Wasser	304	[44]
Grundwasser. — Regen. — Gesamtwirkung des Niederschlags.		
D. Wind	305	[45]
E. Diffusion	311	[51]
Fall 1. — Fall 2. — Fall 3, genereller Fall. — Ausführung der Berechnung für spezielle Fälle. — Diffusionskoeffizient. — Geförderte Mengen.		

KAP. 8. Die Bodendurchlüftung als Diffusionsvorgang und ihre Beeinflussung durch verschiedene Faktoren ...	330	[70]
Pufferwirkung der Tiefenschichten. — Beteiligte Gase. — Aktivität und Gehalte. — Verschieden lufthaltige Böden. — Inhomogene Böden. — Wasser im Boden. — Lehm- und Tonböden. — Luftdruck und Temperatur. — Änderung der Aktivitätsverteilung durch Temperatur. — Tägliche Schwankung. — Gemessene Gehalte. — Abweichungen vom Dauerzustand. — Zusammenfassung.		
AVD. III. DEN EKOLOGISKA BETYDELSEN AV ETT SYREDEFICIT OCH KOLSYREÖVERSKOTT I MARKEN	154	[80]
KAP. 9. Några experimentella data	154	[80]
Rötternas syrebehov. — Kritiska koncentrationer. — Markens »två atmosfärer»; ærotropism. — Specifika differenser. — Akut verkan av gasutbytets strypning. — Vattenkulturer. — Kronisk verkan av gasutbytets strypning. — Toxiner i jorden. — Sammanfattning.		
KAP. 10. Markluftningsproblemets ställning i lant- och skogsbruk och i ekologien.....	171	[97]
Lantbruksforskningen. — Skogliga erfarenheter. — Markluftningsfrågans ställning i den rena ekologien. — Sammanfattning.		
AVD. IV. MARKLUFTEN I SVENSKA SKOGAR	177	[103]
KAP. 11. Undersökningens planläggning och förlopp	177	[103]
Undersökningens föremål. — Principiella svårigheter.		
KAP. 12. Apparatur och metodik	180	[106]
Analysapparat, fellatitud. — Provens uppsugning och förvaring. — Jordsonder. — Aspirerade mängder. — Tätningsförsök. — Definition av djupet. — Svårigheter vid provtagningen. — Analys-siffrornas betydelse.		
KAP. 13. Analysresultat. Allmänna drag hos variationen	192	[118]
Variation med olika väderlek. — Variation med olika djup. — Den inbördes storleken av syrebrist och kolsyreöverskott. — Sammanfattning.		
KAP. 14. Analysresultat, sammanställda för olika marker	200	[126]
A. Torra råhumusgranskogar	200	[126]
B. Skog i lider med rikligare örter.....	203	[129]
C. Hotad och försumpad granskog	205	[131]
D. Tallskogar.....	208	[134]
E. Ortstensmarker	209	[135]
F. Dåliga ljunghedar	210	[136]
G. Lyckade ljunghedsplanteringar.....	212	[138]
10. Meddel. från Statens Skogsförsöksanstalt. Häft. 19.		

H. Råhumusbokskogar	213	[139]
I. Lövskogar med mull	214	[140]
K. Lövkärr	215	[141]
L. Lerbränna	215	[141]
M. Mossar	216	[142]
N. Gräsmark	219	[145]
O. Åkrar	219	[145]
Sammanfattning	219	[145]
KAP. 15. Skogsekologisk diskussion av analysresultaten	221	[147]
1. Råhumusmarker i Norrland	221	[147]
2. Tallhedar	225	[151]
3. Ortsten	226	[152]
4. Ljungråhumus	226	[152]
5. Bokråhumus	230	[156]
6. Mossar och kärr	230	[156]
7. Lermarker	232	[158]
8. Kolsyrehalterna	232	[158]
KAP. 16. Återblick. Försök till några skogligt viktiga slutsatser	233	[159]
AVD. V. LOKALBESKRIVNINGAR	236	[162]
AVD. VI. TABELLER (Tab. I—II och XIII—XIV)	249	[177]
LITTERATUR	273	[201]
Resümee	281	

AVD. I.

DE BIOLOGISKT VIKTIGA MARKSКИKTENS SYRE-
OCH KOLSYREHUSHÅLLNING.KAP. I. Markluftens sammansättning, medeltal och extre-
mer, enligt tidigare undersökningar.

Litteraturen om markluft är, om man så vill, mycket gammal. Redan »gasernas upptäckare», VAN HELMONT, angav närvaron av »Gas silvestre», d. v. s. vad vi nu kalla koldioxid eller kolsyra, i hålor i marken (Ortus medicinæ etc. 1648, cit. efter MEYER 1914). Troligen den äldsta uppgift att luften redan i de allra översta markskikten har en lägre syrehalt än atmosfären återfinnes hos ALEXANDER VON HUMBOLDT (1799): »Luften i mellanrummen i åkerjorden är en ytterst starkt azoterad¹ gas. De maskar och insekter som leva inuti detta jordlager inandas en azöte som blott innehåller 0,05 eller 0,07 syre». Siffran är utan tvivel synnerligen bristfällig; i atmosfären finner HUMBOLDT en syrehalt av omkring 26 % i stället för faktiska 21. Senare undersökningar ha aldrig för luften i åkerjord givit något så lågt värde som 7 % syre.

Markluftens från atmosfären mer eller mindre avvikande sammansättning är emellertid ett faktum som alla senare undersökningar på området med full överensstämmelse konstaterat.

De i litteraturen föreliggande uppgifterna härröra dels från hygieniker — de stamma från den tid, då man ansåg kolera, nervfeber m. fl. sjukdomar orsakade av osunda exhalationer från jorden —, dels från jordbruksforskare, några få från skogsbrukets män. I tab. I (se i slutet av avhandlingen) meddelas ett sammandrag av siffermaterialet i litteraturen, försåvitt detta avser jordar i normal lagring (bearbetade eller oarbetade, gödslade eller ogödslade). Siffror för konstgjorda jordblandningar eller för jordar lagrade i cementgropar, plåtcisterner etc. äro däremot ej medtagna. Även med dessa undantag gör sammanställningen dock ej anspråk på att vara fullständig. Några undersökningar äro uteslutna med avsikt av andra skäl än de nämnda, ytterligare ett par äro tryckta i publikationer, som ej varit tillgängliga för mig. Det förra gäller t. ex. LEATHERS (1915) värden från diverse indiska kulturmarker, vilka ej upptagits av det skäl, att hans metod att samla analysproven ej ger den faktiska sammansättningen av luften i jorden (gasfasen), som det här är fråga om, så att hans siffror ej äro jämförbara med övriga.

I tabellen anges dels medeltal för halt av syre (O₂) och kolsyra (CO₂ i volymprocent, beräknade ur det angivna antalet enkelbestämningar,

¹ azöte, gammal benämning för kväve.

dels extremer, uppåt och nedåt, av de funna värdena. I några fall äro de angivna extremvärdena ej extremer bland enkelbestämningar, utan bland månadsmedia; detta är i så fall särskilt anmärkt i tabellen. Det djup under jordytan, från vilket luftproven stamma, är angivet i dm och årstid med romerska siffror, betecknande månadernas nummer från I = januari till XII = december.

Till jämförelse meddelas i tab. II (i slutet av avhandlingen) några uppgifter om den fria atmosfärens sammansättning.

Siffrorna i tabellerna torde genomgående betyda volymprocent av torr luft, ehuru detta ej alltid klart framgår av originaluppgifterna.

En granskning av tabellerna visar att markluftens sammansättning å olika platser kan vara högst väsentligt olika, men att praktiskt taget alltid och överallt en tydlig skillnad mellan denna och atmosfärens förefinnes. Även å en och samma lokal kan markluften variera avsevärt, i det dels sammansättningen kan växla rätt betydligt från fläck till fläck (SMOLENSKY, BENTZEN, SCHLÖSING), dels ändras på samma fläck. En del generella drag kunna utläsas ur det föreliggande materialet:

1. Syrehalten sjunker, kolsyrehalten stiger i regel med ökat djup under jordytan.

2. Där fortlöpande analyser gjorts å samma stationer under längre tid (se särskilt PETTENKOFER och WOLFFHÜGEL) har man i regel funnit minimum av syre och maximum av kolsyra under sommaren, vanligen under rötmånaden, och maximum av syre, minimum av kolsyra under de kallaste månaderna. Under andra klimatiska förhållanden kan en dubbel årsperiod förekomma med maxima av kolsyra vår och höst, minima vinter och sommar (England: RUSSELL och APPLEYARD 1915).

3. Syrehalten i de ytliga, av rötter genomsatta markskikten sjunker endast i sällsynta undantagsfall avsevärt under atmosfärens. Den håller sig i de allra flesta fall omkring 18—20 volymprocent. Kolsyrehalten är alltid procentiskt betydligt högre än atmosfärens, i genomsnitt minst 10 gånger så stor, men uppnår endast sällan högre värden än en eller annan volymprocent.

4. En hög kolsyrehalt brukar åtföljas av en relativt betydande syrebrist och vice versa. Summan av syre och kolsyra kan dock variera betydligt. (Det är alltså ej tillåtligt att som en del äldre forskare genom bestämning av enbart kolsyran sluta sig till syrehalten.)

KAP. 2. Växlingarna i markluftens sammansättning.

Som redan framhållet, äro variationerna i markluftens sammansättning betydande. Såväl för en diskussion av orsakerna till dessa variationer som framförallt för diskussionen om deras ekologiska betydelse får man

skilja mellan systematiska olikheter mellan olika lokaler, å ena sidan, och variationen å samma punkt å den andra. Vad den senare beträffar, kan man urskilja dels långsamma växlingar efter årstiderna, dels hastigare svängningar upp och ned med en varaktighet av någon eller några dagar. De senare vilja vi för korthetens skull kalla den hastiga variationen, de förra den årliga.

Årlig variation. Den årliga variationens amplitud uppgick i PETTENKOFERS och WOLFFHÜGELS sexåriga serier från München (WOLFFHÜGEL 1879) till i medeltal omkring $\pm 60\%$, räknat efter månadsmedia (d. v. s. de högsta och lägsta månadsmedia ligga i genomsnitt på ett avstånd från medeltalet dem emellan av vardera 60% av detta medeltal). Detta både för serien från 1,5 och för den från 4 m djup. FODORS (1882) treåriga serier från Budapest visa större variation och för det mesta mindre amplituder, och dessa avtaga mot djupet.

Följande tabell ger siffrorna. Även de ur FODORS material härledda hänföra sig till månadsmedia.

*Tabell III. Amplituder för CO₂-haltens årliga variation, % åt ömse håll.
Amplituden der jährlichen Variation der CO₂, % + und —.*

Djup, m Tiefe, m	1	1,5	2	3	4
FODOR, station 1	46	—	39	34	—
» » 2	(54)	—	37	—	32
» » 3	67	—	62	—	15
» » 4	52	—	—	—	—
PETTENKOFER & WOLFFHÜGEL	—	59	—	—	61

Vad kurvornas form beträffar, är den särskilt i münchenmaterialet mycket karaktäristisk, i det kurvan omkring maximum stiger och faller mycket brant, medan minimum är mjukt och utdraget. Kolsyrehalten ligger alltså en större del av året närmare minimivärdet än närmare maximivärdet. Toppen på kurvan faller hela tiden någonstades inom årets tredje kvartal eller på gränsen till det fjärde. Maximets kortvarighet är än mer utpräglad i RUSSELL & APPLEYARDS (1915) material. Årskurvorna för kolsyreöverskott och syrebrist äro i detta material tvåtoppiga med ett vår- och ett höstmaximum, av vilka det förra är starkast och mest utpräglat. Det infaller med stor regelbundenhet i april.

Hastig variation. Även den hastiga variationen synes kunna vara ganska betydande. I FODORS långa serie av dagliga bestämningar på 1 m djup i Budapest (1881 plansch I, kurva 3) förekomma hastiga svängningar av upp till \pm c:a 50% av CO₂-halten. Härvid är ändå ej ett

högt 7-dagarsmaximum medräknat bland de »hastiga» variationerna, då kolsyrekurvan den första veckan i juli snabbt sprang upp till över dubbla höjden mot förut och nådde maximum för det året, för att lika hastigt sjunka tillbaka igen, så att värdena från och med den 12. äro desamma som i slutet av juni. Detta skarpa maximum har alldeles samma karaktär som RUSSELL & APPEYARDS aprilmaximum. Att ange ett genomsnittsvärde för den hastiga variationens amplitud efter FODORS material åtar jag mig ej, men vill i stället meddela några enskilda värden å amplituden för en serie utvalda, särskilt påfallande svängningar i hans kurva.

April 1877	Maj 1877	Juni 1877	Juli 1877
— 18; + 18; + 28; — 44; + 39; + 45;	+ 17; — 17; — 28; + 52.		

Det torde vara helt uteslutet, att dessa svängningar bero på analysfel. Den metod, som FODOR använde (PETTENKOFERS aspirationsmetod), vet jag visserligen av egen erfarenhet vara kinkig, men FODORS analyser av atmosfärisk luft med samma metod visa, att man ej kan förutsätta så stora tillfälliga fel i hans bestämningar. Emot det antagandet att svängningarna skulle bero på analysfel talar ock det förhållandet, att de visa en tydlig gång. Vissa delar av FODORS kurva visa en livlig variation av kolsyrehalten, men däremellan förlöper kurvan lugnt och jämnt, endast taggig av helt små svängningar, som hålla sig inom en ± 5 %. De nyss anförda siffrorna från april till juli 1877 härstamma just från en dylik livlig period. Det är svårt att avgöra, vilket som är det vanligaste fallet, en relativ konstans av markluftens syre- och kolsyrehalt dag från dag å samma punkt eller en variation av den livlighet, som FODOR ibland fann. RUSSELL & APPEYARD (1915) ha funnit att de hastiga variationerna hålla sig inom relativt snäva gränser. GÅARDER & HAGEM betona å andra sidan de stora skillnaderna mellan prov tagna efter regn och under torrväder under samma årstid. Moderna serier, jämförbara med FODORS, finnas mig veterligt ej publicerade.

Variation med lokalen. Olikheterna mellan olika lokaler med avseende på markluftens sammansättning kunna i extremfall vara de största tänkbara, åtminstone för syrehalten. Sifferexempel återfinnas i tabell I.

Även från fläck till fläck å en enhetligt utseende lokal kan som redan nämnt markluftens sammansättning variera. RUSSELL & APPEYARD funno i provserier, tagna för utrönandet av storleken av denna variation, standardavvikelser som i runt tal uppgingo till 20 % av kolsyrehalt resp. syrebrist. Dessa siffror gälla åkerjord.

Olika djup. Slutligen ha vi att nämna några ord om variationerna med djupet under jordytan. Man har som redan nämnt funnit, att kol-

syrehalten och syrebristen så gott som undantagslöst stiga med ökat djup. Stegringen är dock ej proportionell mot djupet, utan sker i regel i betydligt långsammare takt ju längre man kommer nedåt. RUSSELL & APPELYARD funno t. ex. att det ej var någon väsentlig skillnad i jordluftens sammansättning på 6" och på 18" djup. CO₂-överskottet och O₂-bristen var i medeltal efter deras siffror på det större djupet endast 27 % större än på det mindre, medan ökningen skulle varit 200 %, om stegringen varit linjär.

KAP. 3. Orsaker till växlingarna i markluftens sammansättning.

Beträffande orsakerna till alla dessa olika slag av variationer kan man helt allmänt och på förhand säga, att de närmaste måste vara en eller bägge av tvenne: Variationer i oxidationshastigheten i marken och olikheter i gasutbytet med luften. En del av de tidigare författarna på området togo något ensidigt hänsyn till den ena eller andra av dessa faktorer och kommo så till motsäggande resultat (jfr litteraturreferatet hos WOLLNY 1880 a). Bäggedera spela alltså en roll. Det är klart, att man kan tänka sig ett visst kolsyreöverskott eller en viss syrebrist uppkomma lika väl genom särskilt stark syrsättning i marken vid normal genomluftning som genom dålig genomluftning även vid långsam syrsättning i marken. Saken är tämligen självklar, men torde dock förtjäna att uttryckligt påpekas och bör alltid hållas i minnet vid diskussionen. Om man vill t. ex. anföra erfarenheter från Indien, måste man sålunda komma ihåg, att det ej är säkert, att dessa utan vidare kunna tillämpas i tempererade klimat, där omsättningen i marken ej kan väntas uppnå samma intensitet. Det är på förhand rent av sannolikt, att markluftningen bör i högre grad vara en ekologisk faktor och ett agrikulturellt problem i Indien än i Sverige.

Denna förhandsvisdom är ju emellertid i all sin självklarhet rätt mager. Det som intresserar mest, såväl teoretiskt som framförallt praktiskt, är att veta vilka ytterfaktorer, så klimatiska och meteorologiska som kulturella, som inverka samt hur och i vilken grad de inverka.

Redan tidigt jämförde man de observerade variationerna i markluftens sammansättning med variationerna av olika faktorer och fann vissa samband. Man fann sålunda ett samband mellan kolsyrehalten på olika ställen och graden av »förorening» med organiska ämnen i jorden (de tidigaste undersökningarna utfördes som nämnt av hygieniker), man fann att kolsyrehalten och syrebristen under för övrigt likartade förhållanden uppnådde större värden under lera än under sand och grus (FLECK

1874 b). Man fann på samma plats maximum av kolsyra under de varmaste månaderna, man fann ett samband mellan kolsyrehalten och regnmängden eller grundvattenståndet (LEWIS & CUNNINGHAM) och trodde sig kunna spåra ett inflytande av blåst och barometervariationer. Man förklarade även tidigt saken så, att kolsyra bildades och syre bands vid den organiska omsättningen i jorden, och att ersättningen av den förändrade luften med frisk luft gick mer och mindre lätt för sig allt efter jordens olika s. k. permeabilitet. Denna permeabilitet har sedan särskilt intresserat jordbruksforskarna, sedan SORAUER lancerat markluftningen som en faktor av agrikulturell betydelse, och man har gjort experimentella bestämningar därav för olika jordar i olika tillstånd, vilka tillgått så, att man pressat luft genom jorden och registrerat, hur mycket som går igenom per tidsenhet vid ett visst tryckfall. Kolsyreproduktionen och syreförbrukningen i olika jordar under olika förhållanden ha gjorts till föremål för talrika experimentella undersökningar. Vi skola i det följande lämna en kort resumé av vad man numera vet om det samspel av olika faktorer, som resulterar i de procenthalter av syre och kolsyra, som man finner i markluften, och börja då med syreförbrukningen och kolsyreproduktionen för att sedan övergå till gasutbytet.

KAP. 4. Oxidationsprocesserna i jorden.

Sterilisationsförsök. Att själva jorden i naturligt tillstånd förbrukar syre vet man ända sedan SAUSSURE (1804). En jord som steriliserats med kloroform eller andra gifter (WOLLNY 1880 a, FODOR 1882, RUSSELL 1905) eller genom upphettning (DEHÉRAIN & DEMOUSSY 1896, RUSSELL 1905) oxideras däremot endast ytterst långsamt av luftens syre och producerar mycket obetydliga mängder kolsyra vid vanlig temperatur. I de av HESSELMAN (1910 b) undersökta sura, torvartade humusslagen, som ha särskilt intresse ur skoglig synpunkt, var dock oxidationshastigheten även efter sterilisering förvånande hög, ja stundom högre än i osteriliserade prov. Det torde emellertid vara förhastat att anta att i dessa jordar i naturen en rent kemisk oxidation av humusämnena spelar så stor roll som dessa försök synas visa (jfr ODÉN 1919 p. 162). Man kan tänka sig, dels att lättoxidabla ämnen bildades vid upphettningen i och för sterilisering — att jord alltid tämligen radikalt ändras genom upphettning, vet man —, dels — vilket kanske ej heller är uteslutet — att steriliseringen ej varit fullständig; i så fall skulle man i de prov, som efter steriliseringen visade ökad syreabsorption, ha en parallell till den särskilt av RUSSELL och hans medarbetare studerade inverkan av »partiell sterilisering» av jord, vilken kan höja aktiviteten i jorden be-

tydligt (i åkerjord därigenom att bakterierna få tillfälle till ohindrad massförökning vid frånvaro av bakterieätande protozoer; jämför DARBISHIRE & RUSSELL 1907, HESSELINK 1910, RUSSELL & HUTCHINSON 1909 och 1913 och BUDDIN 1914). Att syreabsorptionen stundom ökade efter steriliseringen synes starkt tala för att HESSELMANS resultat böra tolkas på något av de sätt vi antytt. Prof. HESSELMAN är enligt muntligt meddelande själv av denna åsikt.

Vid undersökning av kolsyreproduktionen hos osteriliserad jord vid olika temperaturer (FODOR 1882, DEHÉRAIN & DEMOUSSY 1896) finner man en rask stegring till ett optimum vid omkring 65°, därefter en minskning till ungefär 100°, ovan vilken temperatur kolsyreproduktionen åter mycket hastigt stiger, antydande att vid något över 100° de vid vanlig temperatur nästan overksammas rent kemiska oxidationsprocesserna uppnå avsevärd intensitet.

Det kan synas som det i det förevarande sammanhanget vore skäligent ointressant om oxidationsprocesserna i jorden äro av biologisk eller kemisk natur, då vid normala temperaturer andningen ungefär följer VAN'T HOFFS regel, som gäller för de kemiska reaktionerna. (Se t. ex. NATHANSOHN 1910 p. 374). Om detta är fallet för varje enskild organism och alltså för summan av ett visst antal organismer i ett fysiologiskt experiment, måste emellertid den ekologiska temperaturkoefficienten, om jag så får säga, under gynnsamma omständigheter bli större än vad VAN'T HOFFS regel anger (d. v. s. stegring med 2 à 3 gånger för 10° temperaturhöjning), ty summan av t. ex. antalet bakterier i jorden är ej konstant, utan ökas hastigt vid ökad temperatur under i övrigt gynnsamma betingelser. Jämför om RUSSELL & APPELYARDS aprilmaximum ovan kap. 2. För tolkningen av detta plötsligt inträdande och skarpa, men lika hastigt återgående maximum framkasta de citerade forskarna den tanken, att under vintern en »partiell sterilisation» skulle äga rum i marken. Maximets hastiga återgång skulle då kunna bero på att bakterierna igen decimeras av protozoer efterhand som dessa bli talrika på nytt. Vidare får, när det är fråga om biologisk, ej rent kemisk oxidation, samma höjning av temperaturen olika effekt i olika temperaturområden. Den starka ökningen i kolsyreproduktion till följd av stigande temperatur kommer enligt KEEN & RUSSELL (1921) först sedan temperaturen passerat 5° till 6°. Temperaturstegring är alltså i det studerade fallet av biologisk oxidation i området mellan 0° och 5—6° så gott som verkningslös, i motsats till vad fallet borde vara vid en rent kemisk process.

Markens syrekonsumenter och kolsyreproducenter. Verksamma vid oxidationen i jorden äro bakterier och andra mikroorganismer, mycelie-

svampar, de högre växternas rötter samt markfaunan. Den senare torde spela den minsta rollen; dock vet man ingenting säkert härom. Markfaunan i våra naturliga växtsamhällen, speciellt råhumusmarkerna, är ett kapitel, som ännu väntar på sin bearbetning. Vad de högre växternas rötter beträffar, vet man sedan gammalt (INGENHOUS 1779 p. 228 ff.) att de andas rätt kraftigt, och då de i de flesta kultur- som natursamhällen förekomma i stor mängd skulle man vänta att finna en betydlig inverkan av dem på jordluftens sammansättning. En mark med rikt växttäckte borde då vara syrefattigare och kolsyrerikare än samma mark naken. De jämförande undersökningar som gjorts, framförallt av jordbruksforskare, ha dock ej givit något överensstämmande utslag i denna riktning (jfr MÖLLER 1879, EBERMAYER, se tab. I, WOLLNY 1880 b, 1886, 1896, LAU 1906, BARAKOV 1910, RUSSELL & APPLEYARD 1915, TURPIN 1920). Resultaten äro tvärtom rätt motsägende, utan tvivel beroende på att grödan som RUSSELL & APPLEYARD och före dem WOLLNY ha påpekat inverkar på många olika sätt. WOLLNY hänför den negativa effekt, som han fann, till grödans (experimentellt konstaterade) inverkan på markens temperatur och fuktighet, och den positiva effekt, som han fann ett flerårigt växttäckte utöva, till den ökade humushalt i jorden, som analyser visade i den av växter täckta jorden. Möjligen kunna de högre växterna inverka på omsättningen i jorden genom mikroorganismer även på annat sätt, så att saken blir än mer komplicerad. Jag tänker på den inverkan av en risgröda på markens metanproduktion, som HARRISON & AIYER (1913) funnit. Ytterligare en sak måste man tänka på, när det gäller bedömningen av de av ovan anförda data, som endast avse kolsyrehalten: rötternas respiratoriska koefficient $\text{CO}_2 : \text{O}_2$ (d. v. s. relationen mellan avgiven kolsyra och förbrukat syre) ligger ofta betydligt under det normala värdet, 1 (påvisat redan av SAUSSURE 1884; jfr vidare t. ex. DEHÉRAIN & VESQUE 1876, BONNIER & MANGIN 1884, CERIGHELLI 1920). Om man exempelvis tager CERIGHELLIS lägsta siffra 0,23, så betyder den att ifrågavarande rötter under försöket absorberat 4—5 gånger så mycket syre som man skulle vänta sig med utgångspunkt från kolsyreproduktionen och under antagande av en respiratorisk koefficient av normal storlek. Emellertid ha ju flere av de refererade forskarna bestämt även syrehalten.

Vad beträffar mikroorganismerna, så synas undersökningarna ha givit ett betydligt mer entydigt resultat, så att rentav jordens kolsyreproduktion eller syreabsorption ansetts kunna användas som mått på intensiteten av mikroorganismernas verksamhet (t. ex. RUSSELL 1905, STOKLASA 1911, HUTCHINSON 1913). RUSSELL & APPLEYARD (1915, 1917) ha vid fältundersökningar funnit en vacker parallellism mellan kurvorna

för kolsyrehalt och syredeficit i jordluften å ena sidan och antalet bakterier pr gram jord å den andra.

Det måste anmärkas att såväl dessa sist nämnda undersökningar som så gott som alla man har att hålla sig till gälla åkerjord och ej skogsmark. Av den ovan refererade litteraturen angående de naturliga oxidationsprocesserna i marken är det endast HESSELMANS undersökning och EBERMAYERS kolsyrebestämningar som avse skogsjordar. Det är tyvärr nästan genomgående fallet, så snart det blir fråga om resonsemang rörande skogens fysiologi, att man måste ta exempel från annat håll och tillämpa dem så gott man kan; vi skola nedan se andra prov på samma sak. Som saken nu står, torde det ej finnas någon möjlighet att bedöma, om skogsträdens och markvegetationens rötter, mikroorganismer eller mycelsvampar spela den största rollen som syreförbrukare och kolsyreproducenter i våra skogsmarker. Det brukar anföras som en allmän regel, att svampar spela en större roll än bakterier i skogsjord och i sura, tunga, packade och våta jordar, i motsats till vad fallet är i välarbetad åkerjord (jfr t. ex. RAMANN 1905 p. 120—121, WAKSMAN 1916 a och b, vidare experimentella rön av COLEMAN 1916). I naturlig torvmark är bakterieantalet ringa (STÅLSTRÖM 1898, FABRICIUS & FEILITZEN 1905), men även svamparnas frekvens är liten (TRAAEN 1914). Å andra sidan synas en del nyare undersökningar visa, att svamparnas roll i åkerjord kanske något underskattats (KELLERMAN & MC BETH 1912, TRAAEN l. c. p. 60, NELLER 1918), åtminstone vad gäller cellulosanedbrytningen.

Ej ens den satsen, vilken måste anses fastslagen för åkerjord, nämligen att det i varje fall är biologiska oxidationsprocesser, som äro orsaken till praktiskt taget hela syreförbrukningen och kolsyreproduktionen i i jorden, kan emellertid anses konstaterad att gälla även föra våra skogsmarker, t. ex. de svåra råhumusmarkerna, då ju HESSELMANS ovan anförda undersökning för dylika marker snarast synes tyda på motsatsen, om man går efter siffrorna.

Biologiska orsaker till markluftens variationer. För de marker, från vilka den alldeles övervägande delen av det föreliggande i tab. I sammanförda analysmaterialet härstammar, är det i varje fall lätt att förstå orsaken till de relationer, som man såväl genom experiment (J. MÖLLER 1878, WOLLNY 1880 a, 1881, 1882, 1886) som genom jämförande undersökningar i naturen funnit mellan jordens syreförbrukning eller kolsyreproduktion resp. jordluftens halt av syre och kolsyra under olika årstider, å ena sidan, samt å andra sidan temperatur, fuktighet och halt av organiska ämnen (jfr. t. ex. SALGER, WOLLNY 1897, LIPMAN, BLAIR, MC LEAN & WILKINS 1914) i jorden. Syreförbrukning och kolsyre-

produktion stiga genomgående både med ökad temperatur och fuktighet, inom vissa gränser. De temperaturkurvor man finner i laboratorieförsök äro typiska biologiska kurvor med ett optimum (jfr FODOR 1882, DEHÉRAIN & DEMOUSSY 1896) eller åtminstone med långsammare stigning uppåt vid något övernormala temperaturer (J. MÖLLER 1878). Beträffande fuktigheten observerade MÖLLER, att kolsyreproduktionen hos ett torrt jordprov efter ordentlig fuktning steg till en betydlig höjd, men endast för tre dagar, för att sedan åter sjunka, och det finns uppgifter om optimumvärden med avseende på fuktigheten för i jord kultiverade markorganismer (WAKSMAN & COOK 1916) såväl som för naturliga jordprov (DEHÉRAIN & DEMOUSSY). Orsaken härtill får sökas i vattnets indirekta inverkan på oxidationen och organismernas trivsel genom dess inverkan på genomluftningen, varom blir tal nedan. Med halten av organiska ämnen, lämpliga till föda åt markorganismerna, stiger syreförbrukning och kolsyreproduktion, så länge det är fråga om jämförbara jordar.

I naturen, där temperatur och fuktighet ofta variera samtidigt i motverkande riktningar, är än den ena, än den andra faktorn begränsande (WOLLNY 1882), och observerade årsmaxima av kolsyrehalt eller syredeficit äro att uppfatta som optimumpunkter för de syreförbrukande processerna, orsakade av samspelet mellan de båda faktorerna. Man förstår då lätt, att t. ex. maximum av kolsyra i jorden kan falla på olika årstider under olika klimatiska förhållanden. I München (PETTENKOFER, WOLFFHÜGEL) infaller detta maximum med stor regelbundenhet i juli; här synes värmen vara den begränsande faktorn. I Calcutta (LEWIS & CUNNINGHAM), där temperaturen i det tropiska klimatet är mycket jämn året runt, inträder kolsyremaximum på 3 fots djup samtidigt med de starka regnen och på 6 fots djup varierar kolsyrehalten parallellt med grundvattenståndet. Vid Pusa lantbruksstation i brittiska Indien har man funnit maximum under månaderna juli—oktober och satt det i samband med nederbörd och grundvattenstånd (SEN 1920). (Jämför även nedan om vattnets nedsättande inverkan på markluftningen; att effekten i detta fall åtminstone ej uteslutande beror härpå synes framgå därav att även nitrifikationen i marken har ett maximum strax efter det första starka monsunregnet, se LEATHER 1915 p. 117). I England slutligen ha RUSSELL & APPELYARD funnit att syredeficitet och kolsyrehalten under halvåret november—maj följa marktemperaturen, under halvåret maj—november nederbörds mängden.

Att årsvariationen i markluftens sammansättning åtminstone i huvudsak är att uppfatta som orsakad av en motsvarande period i markorganismernas aktivitet torde vara säkert. Vad de hastiga variationerna däremot beträffar, anser både FODOR, som grundligast, och RUSSELL &

APPLEYARD, som senast studerat dem, att de, i motsats mot de årliga växlingarna, främst böra tolkas som orsakade av variationer i gasutbytet, ej i syrsättningen i marken. Vi spara därför lämpligen diskussionen härom tills det blir fråga om gasutbytet och dess mekanik.

KAP. 5. Kolsyreproduktionens belopp.

Kolsyreproduktion i kulturjordar. Av FODORS (1881), WOLLNYS (1885) och BORNEMANNS (1920) undersökningar framgår, att luften tätt invid jordytan om sommaren ofta är avsevärt kolsyrerikare än någon meter över jordytan, och att den är kolsyrerikare över en träda än över ett fält med gröda. Till belysning må anföras några av WOLLNYS siffror:

Tab. IV. Kolsyrehalter i luften ovan åkerfält.
CO₂-Gehalte der Luft über Ackerland, nach WOLLNY 1885.

Höjd över markytan, meter	0,02	0,2	2,0	Anmärkningar
över klöverfält, vol.-% CO ₂	0,033	0,025	0,025	Medeltal av vardera 4 bestämningar, juli—aug.
» motsv. träda, »	0,037	0,033	0,031	
över klöverfält, vol.-% CO ₂	—	0,035	0,031	Medeltal av vardera 4 bestämningar, maj—juni.
» motsv. träda »	—	0,037	0,032	
över åkrar med gröda (potatis, blandsäd, majs), vol.-% CO ₂	—	0,039	0,036	Medeltal av vardera 8 bestämningar, juni—sept.
» motsv. träda »	—	0,044	0,038	

Dessa siffror endast som ett exempel; liknande återfinnas i stort antal hos BORNEMANN. Enligt denne förf. leva kulturväxterna redan å en svagt gödslad åker rent av i regel i en atmosfär med c:a dubbla atmosfärens normala kolsyretryck. Men om kolsyrehalten även över fälten med gröda är större ett par dm från marken än på 2 m höjd, måste man anta att kolsyreutströmningen från åkerjorden under högsommaren kan täcka de gröna växternas kolsyreförbrukning.

Vi vilja se efter vad detta betyder. Som en utgångspunkt för en uppskattning kan man taga SJÖSTRÖMS (1911—1919) siffror över torrsubstansökningen hos olika grödor under högsommaren.¹ Som medeltal av hans värden finner man för rotfrukter (kålrötter och rovor; medeltal av 4 resp. 5 års undersökningar) en torrsubstansökning av 0,8 ton pr har och vecka under månaderna aug.—sept. För råg under tiden slutet av maj till början av juni blir motsvarande siffra 0,9 ton pr har och vecka (medeltal av 4 års undersökningar) och för blandsäd

¹ För benägen hänvisning till detta material har jag att tacka prof. E. HENNING.

(havre, vicker, ärter, korn) under juli—aug. (8-årigt medeltal) 0,6 ton pr har och vecka. Om vi räkna med det sista, lägsta värdet och anta en kolhalt i torrsubstansen av 42 % (jfr sammanställningen hos EBERMAYER 1882 p. 47) få vi en kvantitet assimilerat kol av 36 kg pr har och dag, vilket motsvarar en dagligen assimilerad kolsyremängd av 13,2 gram eller 7 liter pr m^2 åker. Räknar man med det högsta värdet, fås 19,8 g = 10,5 liter pr m^2 och dag (volymerna liksom i det följande beräknade vid 15° C).

STOKLASA & ERNEST (1905) ha på annat sätt försökt en kvantitativ uppskattning på experimentell bas av de i jorden producerade kolsyrekvantiteterna. De finna att 1 kg åkerjord producerar 17—50 mg kolsyra pr dygn vid 20°. För en överslagsberäkning över förhållandena ute i naturen anta de en produktion av 15 mg pr kg och dygn för ett 40 cm tjockt skikt, vilket ger 75 kg CO_2 pr har och dygn, d. v. s. 7,5 g pr m^2 åker och dygn. Andningen hos rötterna beräknas för ett vetefält under antagande av 2 millioner plantor pr har uppgå till 6 g CO_2 pr m^2 åker och dygn (vid 15°).

Det värde å kolsyreproduktionen, som ger sig ur STOKLASAS & ERNESTS siffror för åkerjord med gröda, 13,5 g CO_2 pr dygn och m^2 , stämmer nästan alldeles med det värde, 13,2 g pr dygn och m^2 , som vi beräknat ur SJÖSTRÖMS lägre siffra, 0,6 ton torrsubstans pr har och vecka. Om vi då räkna med detta lägre värde, 13,2 g = 7 liter, torde vi ha ett gott minimivärde för kolsyreproduktionen i produktiv åkerjord under högsommaren. STOKLASAS & ERNESTS beräkningar äro rätt försiktiga. BORNEMANN (1920, p. 65) räknar med högre siffror: 12—15 liter. En gammal direkt bestämning av CORENWINDER (BORNEMANN p. 73) gav 15,7 liter pr m^2 och dygn. Vid undersökning av CO_2 -avgivningen från indisk åkerjord i slutna kärl fann LEATHER (1915) värden som nästan utan undantag ligga mellan ytterlighetsvärdena i STOKLASAS & ERNESTS försök, men märkvärdigt nog närmare den undre gränsen (värdena variera mellan 5 och 30 mg pr kg jord och dag), medan man i det tropiska klimatet (30° C) hade väntat sig betydligt högre värden. Orsaken härtill är utan tvivel att försöken gjordes för långvariga, 19—26 dagar, så att syret i kärlen vid slutet av försöken var nästan slut (slutvärdet varierade mellan 0,05 och 2,5 % O_2). Härpå tyder, att värdena äro mer än dubbelt så höga i den ena serien, där större kärl begagnades, än i den andra med mindre luftrum.

Kolsyreproduktion i skogsjord. I skogsjord funno STOKLASA & ERNEST en kolsyreproduktion hos jorden som t. o. m. var rätt betydligt större än åkerjordens pr kg jord räknat (36—60 mg CO_2 pr kg och dygn vid 20°). Dessa siffror härstamma från Mellaneuropa.

LUNDEGÅRDH (1921) har några direkta bestämningar av CO_2 -avgivningen från marken i alkärr och bokskog (Skåne, Hallands Väderö). Värdena variera mellan 0,84 och 1,88 mg CO_2 pr timme och 50 cm² markyta, d. v. s. 4 och 9 gram (2—5 lit., 15° C) pr dygn och m². Bestämningarna skedde genom att sätta ut en skål med barytlösning, övertäckt med en glaskupa med i marken nedskuren kant, och bestämma hur mycket CO_2 som absorberats av baryten under försökstiden. Detta värde hänfördes så till en yta = glaskupans öppning. Förliden sommar gjorde jag under ett besök på Hallands Väderö själv några dylika bestämningar. Först försökte jag med LUNDEGÅRDHS metod, blott att jag använde $\frac{1}{5}$ -normal baryt i stället för $\frac{1}{20}$ -normal, men fick av dessa försök den uppfattningen att metoden är dålig. Jag fick t. ex. under 2 timmar 22,4 mg under klockan absorberad kolsyra (sedan naturligtvis kolsyran från början i klockan frånräknats), men under de följande $9\frac{1}{2}$ timmarna 26,9 mg, i förra fallet alltså 11,2, i senare 2,8 mg pr timme och samma markyta. Förklaringen till detta hastiga avtagande ligger antagligen däri, att absorptionen alltmåra försvåras i mån som det bildar sig en karbonathinna i barytskålen. Det är möjligt, ja, troligt, att karbonathinnan i LUNDEGÅRDHS försök ej var så svår och hinderlig, eftersom han använde en utspäddare lösning. Principiellt vidlåder emellertid samma svaghet hans försök. Dock skulle metoden ändå kunna ge minimivärden, om man blott vore säker, att ej inströmningen av kolsyra i klockan under försöket av någon anledning är större än den normala avgivningen från jorden. Detta kan man emellertid ingalunda säkert förutsätta. Om det normala gasutbytet t. ex. förorsakas huvudsakligen genom diffusion, så bör avgivningen ökas över den normala därför att man skapar ett större diffusionsfall än normalt genom absorptionen av kolsyra under klockan. Om absorptionen med baryt fungerar väl, har man anledning anta, att kolsyretrycket i klockan understiger atmosfärens normala. Under sådana förhållanden har man icke blott att räkna med en ökad diffusion rätt underifrån, utan med diffusion från sidorna, t. o. m. från atmosfären. För att pröva denna sak gjorde jag det försöket, att jag satte ut klockan på ett tunt lager fin, torr havssand, utströdd på en glasskiva, och bäddade kring kanten av klockan med samma sand. Jag fick en absorption i klockan under 7 timmar av 12 mg kolsyra utöver vad som luften i klockan beräknades innehålla från början. Alltså en inströmning av 1,7 mg pr timme. Då den använda sanden var ren, torr, snövit havsstrandsand måste väl åtminstone lejonparten av denna kolsyra ha kommit till genom diffusion av kolsyra utifrån, från luften. Försöket är dock ej strängt bevisande, då man kan tänka på i sanden absorberad kolsyra och även någon produktion från i sanden levande

organismer. Även utan det anförda lilla försöket kan man emellertid påstå, att diffusion från sidorna vid en försöksanordning som den av LUNDEGÅRDH använda är en allvarlig felmöjlighet (jfr kap. 7, Diffusion), och jag övergick därför så gott först som sist till en annan metod, som är fri från denna felkälla. Den använda anordningen visas i fig. 1. Den består helt enkelt av en burk av zinkplåt med $\frac{1}{20}$ m² tvärsnitt och 10 lit. rymd, sedan volymen motsvarande en 6 cm kant för nedskärning i jorden frånräknats. Locket är tubulerat som figuren visar

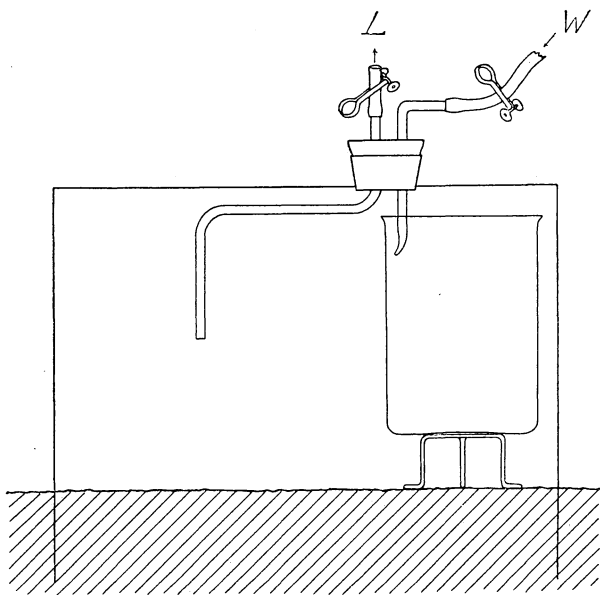


Fig. 1. Apparat använd för bestämning av kolsyreavgivningen ur marken.
Apparat für Bestimmung der CO₂-Abgabe des Bodens. Analysapparat nicht gezeigt.

och två glaströr införda genom en gummipropp. Burken paraffinerades invändigt och för försökets utförande nedsattes den på jorden med kanten nedskuren i marken som figuren visar. I denna burk fick så under viss tid kolsyran från marken strömma in, utan närvaro av baryt, varefter ett prov om 0,9 liter togs av luften i burken och analyserades i en av LUNDEGÅRDH konstruerad apparat, av vilken han välvilligt ställde ett exemplar till mitt förfogande för dessa försök. Samtidigt med utsugningen av provet tappades lika mycket vatten in i den å figuren visade bägaren, så noga som möjligt i samma takt, för att undvika uppsugning av luft ur marken. Kolsyrehalten i luften vid marken bestämdes å ett vid försökets början taget prov om 3 liter medelst en annan av LUNDEGÅRDH utarbetad metod (väsentligen identisk med PETTENKOFERS senare av LETTS & BLAKE

vidare fullkomnade flaskabsorptionsmetod). Om CO_2 -halten i luften vid jordytan är c_0 och den efter tiden t i burken c_t mg/lit., så har uppenbarligen under försökstiden från marken avgivits $20 \cdot 10 (c_t - c_0) : t$ mg CO_2 pr tim. och m^2 markyta, motsvarande $24/1000$ därav i g pr dygn. Noggrannheten av värdena beror på noggrannheten dels av analyserna, dels av volymbestämmningen för den mellan burkens väggar och marken innestängda luftmängden, dels av termometer- och barometeravläsningarna och tidsbestämningen. Den för bestämning av c_0 använda metoden ger enligt mina serier (parvisa bestämningar av CO_2 -halten i atmosfärisk luft med två likadana apparater; medelfelet uträknat ur differenserna mellan de samtida bestämningarna med en av doc. S. D. WICKSELL välvilligt angiven formel) en noggrannhet av $\pm 0,017$ mg/lit.; den metod enligt vilken c_t bestämdes ger enligt benäget meddelande av doc. LUNDEGÅRDH en noggrannhet av $\pm 1,2$ % av CO_2 -halten i vanlig luft, om ett prov om 3 liter analyseras, alltså för ett prov om 0,9 liter väl ungefär 4 % av luftens $\text{CO}_2 = \pm 0,024$ mg/lit. Det största felet måste emellertid ligga i volymbestämmningen av luften i burken. Nivån av markytan i burken kan knappast anses vara bestämd noggrannare än på ± 1 cm när; detta gör ett fel i volymen av ± 5 % eller $\pm 0,5$ liter. Felen av barometer- och temperaturavläsningarna äro vid sidan härav så små, att de kunna försummas.

De erhållna värdena återges i följande tabell, där även den med antagande av de avgivna medelfelen beräknade noggrannheten är angiven. T_t och B_t betyda temperatur resp. barometertryck vid tiden t ; c_0 är reducerat till T_t , B_t , men c_t oreducerat.

Tabell V. Kolsyreavgivning ur marken.
 CO_2 -Abgabe aus dem Boden.

Bokskog på en fastmarksudde i Kapellhamnskärret, Hallands Väderö, se lokalbeskrivning nr 29.
 Där burken placerades endast löv på marken.

Buchenwald mit *Oxalis* etc., vgl. Lokalitätsbeschreibung 29; Hallands Väderö (Schonen). Auf dem Fleck, wo das Diffusionsgefäß plaziert wurde, war der Boden nur mit totem Laub bedeckt. — T_t und B_t Temperatur bzw. Barometerstand zur Ende der Versuchszeit t ; c_0 ist auf T_t , B_t reduziert, c_t unreduziert.

Datum och tid Datum und Zeit	T_t °C.	B_t mm Hg	c_0 mg/lit	c_t mg/lit	t tim. Stunden	CO_2 avgiven pr m^2 markyta CO_2 durch 1 m^2 Bodenfläche	
						mg pr tim. mg pro Stunde	g pr dygn g pro Tag
29. VI. 6 ⁵⁰ —8 ⁰⁰	13,7	762	0,60	2,03	1 ¹ / ₆	245 \pm 13	5,9 \pm 0,8
30. VI. 2 ⁴⁵ —5 ⁵⁵	15,5	767	0,59	2,92	3 ¹ / ₆	147 \pm 8	3,5 \pm 0,2
1. VII. 3 ⁵² —5 ¹²	15,0	767	0,60	1,85	1 ¹ / ₃	188 \pm 10	4,5 \pm 0,25
2. VII. 2 ⁰⁰ —4 ⁰⁰	17,0	766	0,58	2,01	2	143 \pm 8	3,4 \pm 0,2

Fördelen med den använda metoden är att den ger säkra minimivärden för kolsyreavgivningen. Om man undantar den teoretiskt förefintliga felkälla, som ligger i uppsugning av luft ur jorden om temperaturen går ned under försöket (jag har övertygat mig om, att inverkan härav måste legat långt innanför felgränserna), kan inströmningen av kolsyra i burken under försöket aldrig bli större än avgivningen från marken skulle vara, om burken vore borta. Den måste tvärtom alltid bli mindre, ty efterhand som CO_2 -halten i burken blir större, måste det ske en uppdämning av kolsyreströmmen nedifrån.

Å andra sidan kan man genom att minska försökstiden närma sig det sanna värdet intill en viss gräns, som sättes av den använda analysmetodens noggrannhet. Detta påstående innebär strängt taget ett anticiperande av resultatet av min utredning angående gasutbytet mekanik, kap. 7. Man ser emellertid, att värdena pr tidsenhet i tabellen äro högst för de korta försökstiderna. Värdena för 2 och $3\frac{1}{6}$ tim. äro däremot lika, vilket är rätt märkvärdigt, då c_t i det senare försöket redan hade ett värde, som måste ligga helt nära maximum, att döma efter ett par markluftanalyser, som jag gjorde på samma fläck, visserligen ett par dagar senare (4.VII). Dessa gävo 0,19 vol.-% på 15 cm djup, 0,36 vol.-% å 30 cm och 0,42 å 60 cm.¹ Här intresserar det första värdet samt det andra i den mån det visar, att kolsyrehalten steg något så när lineärt närmast ytan. Det i $3\frac{1}{6}$ -tim. försöket funna c_t -värdet, 2,92 mg/lit, motsvarar 0,155 vol.-%, ett värde alltså, som efter markluftanalyserna före burkens placering borde ha funnits i jorden först på 11 cm djup = 5 cm under burkkanten. Nu gjordes markluftanalyserna som nämnt ett par dagar efteråt (apparaten var ej ordning förr), och en granskning av c_t -värdena visar att åtminstone CO_2 -avgivningen måste ha varierat under försöksperioden. Den 29.VI inställde sig ett c_t -värde av 2,03 mg/lit på $1\frac{1}{6}$ tim., men två dagar senare endast 1,85 mg/lit på $1\frac{1}{3}$ tim., alltså ett lägre på en något längre tid. Jämför ovan kap. 2 redogörelsen för de hastiga variationerna i markluftens kolsyrehalt enligt FODORS serier.

De anförda analyserna äro ju ytterst fåtaliga och endast avsedda till en orientering. Metoden synes emellertid användbar, och jag ämnar utföra bestämningar av markens CO_2 -avgivning i större skala med en förbättrad apparat efter samma princip i sammanhang med den undersökning av kolsyrebalkansen i skogen, varom är nämnt i förordet.

Mina beräkningar gävo alltså värden, som varierade mellan 3,4 och 5,9

¹ Dessa analyser utfördes med en annan apparat än KROGHS, som jag f. ö. begagnat (se nedan), nämligen med en liten apparat av HALDANE-typ, som jag fick låna av doc. LUNDEGÅRDH. Även den sista decimalen torde vara något så när säker.

g avgiven kolsyra pr m^2 jord och dygn. De stämma, underbart nog, bra med LUNDEGÅRDHS siffror, 4—9 g. Av ovan anförda skäl måste de högre av mina värden anses ligga närmare det rätta värdet; om man med hänsyn härtill tar medeltalet av de två kortvarigaste försökens resultat, får man 5,2 g eller ungefär 2,8 lit. CO_2 pr m^2 och dygn, eller 0,12 lit. i timmen.

KAP. 6. Gasutbytets livlighet, bedömd med ledning av kolsyreproduktionen och förrådet av kolsyra.

Åker. Om vi sätta markluftens kolsyrehalt i det översta ett par dm tjocka lagret i åkerjord till i genomsnitt $\frac{3}{4}\%$, så är detta även för åkerjord under sommaren rätt högt räknat (jfr t. ex. RUSSELL & APPLE-YARDS och LAUS siffror tab. I). För att med denna kolsyrehalt komma upp till en kolsyrekvantitet av $7:24 = 0,29$ liter (som avgavs pr tim., kap. 5) måste vi då i alla fall räkna 39 liter markluft, motsvarande en jordvolym av c:a 2 hl, om jordens luftfyllda porvolym är 20 % (genomsnitt för naturfuktig åkerjord enligt RUSSELL 1917 p. 140—141 är endast 10 %, men denna siffra förefaller väl låg). Denna volym motsvarar med en grundyta av 1 m^2 ett djup av 2 dm. Det vill säga, den kolsyrekvantitet som in minimo i WOLLNYS kap. 5 relaterade fall och andra liknande måste antas pr timme ha avgivits från jorden till atmosfären skulle motsvara totala kolsyrehalten i jorden från ytan och ned till ett djup av omkring 20 cm. Om BORNEMANNS och CORENWINDERS siffror läggas till grund för beräkningen kommer man till ännu högre värden.

Bokskogsmark. Låt oss försöka en liknande överslagsberäkning för bokskogsmarken på Hallands Väderö. Vi funno ovan 0,12 liter i timmen som ett antagligt minimivärde för den kolsyremängd som 1 m^2 markyta avgav till luften under de högsommardagar bestämningarna gjordes, och vi känna kolsyrehalten i markluften på 3 olika djup och på samma fläck ett par dagar senare. Både för enkelhetens och riktighetens skull och även för närmare anslutning till en del resonnemang i det följande vilja vi räkna med CO_2 -överskottet i marken i stället för med CO_2 -halten. Dessa värden bli 0,16; 0,33; 0,39 % å resp. 15, 30 och 60 cm djup (siffrorna ovan med subtraktion av 0,03 vol.-%). De två första siffrorna ligga nästan exakt på en rät linje med siffran 0 på 0 cm djup, och vi antaga därför att CO_2 -överskottet stiger lineärt från 0 till 30 cm djup. Det vore då enkelt att ganska exakt beräkna totala CO_2 -överskottet under 1 m^2 markyta ned till ett visst djup, om vi blott kände den luftfyllda porvolymen. Det göra vi emellertid ej, utan måste godtyckligt sätta den till något värde. För att då räkna försiktigt anta vi por-

volymen så högt som möjligt inom rimlighetens gräns och sätta den till 60 %. Totala CO_2 -överskottet i markluften i en jordpelare av 1 m^2 tvärsnitt och x dm höjd, där x räknas från jordytan och nedåt, blir då $0,033 \cdot x^2$ liter, om x ligger mellan 0 och 3. Om man då sätter $0,033 \cdot x^2 = 0,12$ och löser, får man $x = 1,9$. För att få den mängd kolsyra, som avgavs från marken till luften under en timme, måste man alltså ta till hela kolsyreöverskottet i marken från ytan ned till 19 cm djup. Vi se att siffran stämmer alldeles med den vi funno ovan för åkerjord. Den noggranna överensstämmelsen är naturligtvis en tillfällighet. Vad som är viktigt är att storleksordningen stämmer.

Markkolsyran och atmosfären. Om dessa överslagsberäkningar få generaliseras, måste man tydligen uppfatta den kolsyrehalt, som man finner i markluften, som en jämvikt mellan en intensiv produktion och ett mycket livligt gasutbyte med atmosfären. Otvivelaktigt ligger saken så i många fall, och mycket tyder på att det är regeln. Åtskilliga forskare ha funnit, att markkolsyran utövar ett fullt märkbart inflytande på kolsyrehalten i lufthavets bottenkikt. Även i skogsluft har man funnit något till betydligt högre kolsyrehalt än atmosfärens normalvärde. EBERMAYER (1885) fann t. ex. i medeltal 0,0329 % CO_2 på 1,5—2 m höjd i skogen mot 0,0318 i fria luften; hans högsta värde var 0,0549 % i ett 12-årigt bokbestånd (jfr vidare PUCHNER 1892). MAC LEAN (1919) fann det enorma värdet av 0,34 % på morgonen i en tropisk regnskog; en kvällsbestämning gav ett lägre, men även det ett exceptionellt högt värde 0,14 %. LUNDEGÅRDH (1921) fann vid marken i en alskog på Hallands Väderö i regel avsevärt övernormala CO_2 -värden, maximalt över dubbla den normala halten.

Vid vilket värde kolsyrehalten håller sig i trädskronorna i skogen vet man ej, och det går därför ej att för skogsmarkens del tillämpa det resonnemang, som vi förde kap. 5 för produktiv åkerjord, med användning av skogliga produktionsiffror. För en undersökning av kolsyrebalsen i skogen blir en av de första uppgifterna att utreda den saken.

FODOR (1881) meddelar långa serier jämförande analyser av luft tagen invid jordytan och 2,5 m högre upp, vilka givit som resultat:

- 1) att CO_2 -halten under större delen av året är större vid marken än å 2,5 m höjd,
- 2) att under senvintern och förvåren, liksom även eljes tillfälligtvis under regndagar, motsatsen är fallet,
- 3) att variationerna äro störst vid marken,
- 4) att variationerna invid marken med någon försening följas av motsvarande fast mindre variationer å den högre nivån.

FODOR uttalar med stöd av sina försök den uppfattningen, att atmo-

sfärens viktigaste kolsyrekeälla är de lösa jordlagren, närmare bestämt de biologiska oxidationsprocesser, som där försiggå. RUSSELL & APPEYARD (1915) påpeka den parallella gången av kolsyrevärderna i deras markluftanalyser och i LETTS & BLAKES (1900) luftanalyser: ökning mars—maj, minskning maj—augusti, ökning oktober—januari.

På sista tiden ha flere jordbruksforskare kommit till den åsikten, att marken spelar en stor roll som kolsyrelleverantör åt de gröna växterna, och man har gjort ordet kolsyregödsling. En av kolsyregödslingens förespråkare, REINAU (1920), kommer efter en vidlyftig diskussion av föreliggande fakta — bl. a. den anmärkningsvärda, av flere forskare (t. ex. FODOR 1881—1882, ARMSTRONG 1880, i Sverige SELANDER 1888) konstaterade dygnsperiodiciteten i atmosfärens kolsyrehalt med minimum om dagen, maximum om natten — till den slutsatsen, att den aktuella kolsyrehalten i luften i varje ögonblick är uttryck för en rörlig jämvikt mellan två antagonistiska processer, de icke gröna organismernas, alltså speciellt jordens, produktion och de gröna växternas förbrukning av kolsyra. Enligt denna uppfattning skulle alltså den överslagsberäkning, som vi ovan gjorde med utgångspunkt från WOLLNYS försök, äga en högst generell giltighet.

Syretransporten. Vi ha i ovanstående resonemang hela tiden hållit oss till utbytet av kolsyra mellan mark och luft. Det har skett endast därför, att kolsyran är så mycket lättare att få några hållpunkter på än syret. Det senare utgör ju drygt en femtedel av atmosfären, och ett tillskott eller en minskning därav måste därför vara mycket betydande för att kunna märkas. Helt annorlunda ligger saken med avseende på kolsyran, som förekommer i luften i genomsnitt endast i en koncentration av 0,03 volymprocent. Den genomgående underförstådda tanken i hela mitt resonemang har emellertid varit att man kan använda kolsyran som en indikator på gasutbytet överhuvud, och att man utan vidare har rätt att sluta att gasutbytet för syrets del sker på samma sätt och i stort med minst samma intensitet som för kolsyrans. Kolsyran i jorden alstras av allt att döma i huvudsak genom organismers andning, vilken med undantag för anaeroberna för det mesta visar en »respirationskvot» eller »respirationskoefficient» $\text{CO}_2 : \text{O}_2$ ungefär = 1 eller därunder, d. v. s. det förbrukas i allmänhet minst lika mycket syre som det produceras kolsyra. Det måste alltså kunna komma ned syre i jorden med minst ungefär samma fart som det avgår kolsyra därur. Fysikaliskt äro ju även de båda gaserna så pass lika, att man ej har anledning anta annat än att där kolsyran kan passera med den hastighet som den visats göra, där bör syret ej behöva komma på efterkälken.

Slutsatser. Man torde efter allt det anförda ha rättighet att anta, att det normala förhållandet är ett synnerligen livligt gasut-

byte mellan markens biologiskt verksamma skikt och atmosfären. Det kan kanske vara skäl att till sist göra riktigt klart vad de ovan beräknade siffrorna betyda genom att vända saken på ett annat sätt. Vi funno att den från jorden per timme avgivna kolsyran motsvarade kolsyreöverskottet i marken från ytan och ned till ungefär 20 cm djup. Nu vet man genom åtskilliga undersökningar (jfr t. ex. WAKSMAN 1916 a och b) att den biologiska aktiviteten i jorden har sitt maximum alldeles under ytan. Om man tar t. ex. WAKSMANS siffror för bakteriehalten på olika djup och utjämnar dem med en medelkurva, som skett i fig. 3 nedan (Avd. II, tyska texten) där dessa siffror finnas framställda, och man sedan tar reda på hur stor del av totala bakteriemängden i jorden som enligt vad denna kurva visar ligger ytligare än 8" = 20 cm, så finner man att denna del utgör 68 %. Om man antar att en bakterie andas lika kraftigt på vilket djup den befinner sig, kan man direkt översätta bakteriemängd i CO₂-produktion och säga att 68 % av produktionen är lokaliserad ytligare än 20 cm. Den CO₂ som produceras i detta skikt under $100:68 = 1\frac{1}{2}$ timme motsvarar alltså totala, aktuella CO₂-överskottet i samma skikt. Det vill säga, att om gasutbytet upphörde endast för en tid av $1\frac{1}{2}$ timme, så skulle kolsyreöverskottet i detta skikt vid slutet av denna tid ha sprungit upp till det dubbla mot förut, såvida kolsyran ej heller kan ge sig iväg nedåt. Efter 14 timmars sisterat gasutbyte skulle under samma förutsättning det vara det tiodubbla mot från början, o. s. v., förutsatt att produktionen fortsatte med oförminskad livlighet. Jag sluter av dessa siffror, dels att det normala gasutbytet till större delen måste åstadkommas av en i stort sett alltid med ungefär oförminskad intensitet verksamma faktor, dels att varje ändring i aktiviteten i marken och i gasutbytets livlighet genast bör märkas som en ändring i markluftens sammansättning. Om utpräglat intermittent verkande faktorer sådana som blåst och barometervariationer vore de huvudsakligen verksamma vid gasutbytet, skulle man ha att vänta sig hastiga variationer i markluftens sammansättning av betydligt större amplitud än den man funnit.

AVD. II.

GASUTBYTETS MEKANIK.

Denna avdelning är i sin helhet tryckt på tyska och återfinnes på sin plats i den tyska borgistexten. Här meddelas endast helt kort de viktigaste resultaten.

De olika verksamma faktorerna kunna sammanföras under rubrikerna temperatur, lufttryck, vatten, vind och diffusion. För varje faktor har den beräknade effekten jämförts med den avd. I härledda siffran, genomluftning ned till 2 dm djup på 1 timme, vilket värde för korthetens skull kallas normalluftning.

Resultatet av utredningen har för de olika faktorerna blivit följande:

Temperatur. Man har att betrakta dels markluftens sammandragning och utvidgning under inflytande av markens temperaturvariationer, dels strömningar på grund av olikformig uppvärmning. Den förstnämnda effekten är mycket ringa, den skattas för de dagliga variationerna under högsommaren, då de äro stora, till $1/800$ (fritt fält) till $1/600$ (skog) av normalluftning, och för de årliga variationerna till ännu mindre, $1/9000$ av normalluftning. Ventilationen genom strömningar i följd av olika uppvärmning torde däremot för mycket grovkorniga jordar, t. ex. välbearbetad lermylla, maximalt möjligen under vissa förhållanden kunna åstadkomma en genomluftning av en hastighet, som till och med överstiger normalluftning. För naturliga skogsmarker i våra bredder måste däremot effekten bli försvinnande. Den kan även under den gynnsammaste årstiden (hösten) och under antagande av en så genomsläpplig mark som torr flygsand knappast uppnå $1/200$, troligen ej ens $1/500$ av normalluftning.

Lufttryck. Lufttrycksvariationernas tänkbara inverkan står i proportion till djupet av de luftfyllda markskikten. För ett 10 m mäktigt homogent lufthaltigt jordlager kan som största tänkbara genomsnittseffekt i våra bredder beräknas $1/200$ — $1/130$ av normalluftning; maximeffekten, som kan väntas under extrema stormperioder (1 à 2 gånger om året), beräknas till $1/15$ av normalluftning. För ett djup av de luftfyllda jordlagren (ned till grundvatten eller berg) av 1 m i stället för 10 bli siffrorna $1/10$ av de nämnda. Om ett mindre lufthaltigt relativt tunt jordlager överlagras ett mäktigt lager med hög lufthalt, bör dock ventilationseffekten i det förra kunna bli multiplicerad i ungefär samma proportion som omvända förhållandet mellan lufthalterna i de bägge olika skikten.

Vatten i jorden. Grundvattenståndets ändringar kunna under en kort tid på våren efter snösmältningen tänkas åstadkomma en genomluftning genom insugning av frisk luft i jorden, som högt räknat uppgår till knappt $1/20$ av normalluftning. (Beräkningen stöder sig på Statens Skogsförsöksanstalts grundvattensmätningar i Norrland). Under alla övriga årstider kan man endast räkna med en effekt som maximalt, någon gång och i enstaka fall, kan uppgå till omkring $1/50$ av normalluftning. Medeleffekten måste bli försvinnande.

I jorden nedträngande regn måste undantränga motsvarande mängd markluft, och om sedan regnvattnet åter försvinner på ett eller annat sätt (nedrinner på djupet och bortrinner med grundvattnet, upptages av växternas rötter eller avdunstar) måste rummet fyllas med frisk luft uppfifrån. Om man, för att få ett väl tilltaget maximalvärde för denna effekt i gynnsamma fall, räknar med medeltalen för högsta regnmängder under en dag för svenska orter och antar att denna mängd på ett och samma dygn hinner falla, fullständigt nedrinna i jorden och även åter försvinna på djupet utan att grundvattenståndet höjes, kommer man för en jord med 10 % lufthalt ändå ej längre än till $1/16$ — $1/12$ av normalluftning (för större porositeter mindre). Genomsnittseffekten måste bli mycket obetydlig.

Vind. Vindens roll vid markens genomluftning är svår att ens skattningsvis beräkna. Resultatet av mina skattningsförsök har blivit, att för välarbetad åkerjord med fåror och tiltor på en blåsigt slätt som Uppsalaslätten även medeleffekten möjligen kan bli mycket stor, i det det beräknade maximalvärdet för tiltornas genomsnittliga genomblåsning ligger så högt som 0,4 till 1,7 meter per timme, alltså betydligt mer än normalluftning; för en dyn av naken, lös flygsand, utsatt för havsvindarna, kan möjligen effekten även bli betydande: i genomsnitt $1/8$ till $1/2$ av normalluftning. För alla våra skogsmarker däremot kan man ganska säkert påstå, att effekten måste bli försvinnande. För en liten ås av flygsand under inverkan av Uppsalaslättens vindförhållanden och bevuxen med så gles tallskog, att den kan tänkas ej alls hindra vindens spel kommer jag till i genomsnitt $1/1000$ — $1/3000$ av normalluftning. I slutna bestånd på moränmark måste även om terrängen är kuperad verkan bli ännu ofantligt mycket mindre.

Diffusionen slutligen beräknas ej endast i gynnsamma fall, utan normalt och även i packad och finkornig jord kunna åstadkomma en luftväxling som täcker normalluftningens värde. I skogsmarker, där förhållandena ej äro gynnsamma för en markluftning genom medverkan av vind och temperatur, måste därför den normala markluftningen praktiskt taget uteslutande vara orsakad av diffusion.

Med anledning av detta resultat har ett kapitel ägnats åt en mer detaljerad uppskissning av markluftningen som en diffusionsprocess.

De viktigaste resultaten kunna sammanfattas i följande punkter:

1) Genomluftningen och de värden p_+ och p_- (relativt kolsyreöverskott och d:o syrebrist), som inställa sig på ett visst djup i marken, äro beroende framförallt av aktiviteten och aktivitetsfördelningen i marken i fråga samt markens luftfyllda porvolym (lufthalt). Vad den sista punkten beträffar, är ej den genomsnittliga lufthalten i jorden avgörande, utan framför allt ytlagrets.

2) Om eljes allting är lika, även aktivitetsfördelningen, så stå de värden p_+ och p_- , som inställa sig på visst djup, i direkt proportion till aktiviteten i marken.

3) Om olika jordar ha samma aktivitet och lufthalt, men olika aktivitetsfördelning, så bli p_+ och p_- på samtliga djup lägst i den jord, där aktiviteten är mest hopad mot markytan.

4) I hela vägen likformigt lufthaltiga jordar med samma aktivitet och aktivitetsfördelning stå de värden p_+ och p_- , som inställa sig på samma djup i de olika jordarna, i omvänd proportion till den ifrågavarande jordens lufthalt. Detta gäller för alla djup.

5) Markens kornstorlek spelar en mycket underordnad roll, om den blott ej underskrider en viss minimistorlek. Ett kompakt lerskikt nedsätter dock genomluftningen i mycket hög grad (t. ex. till $1/100$ av den normala).

6) Tillstoppning av porerna i marken genom vatten nedsätter gasutbytet i de tillstoppade porerna till ungefär $1/10000$ av det normala. Å andra sidan är den genomluftande effekt, som i jorden nedsipprande regnvatten kan åstadkomma, — även om man tar hänsyn till dess förmåga att lösa kolsyra och därtill, att det medför löst luftsyre — ringa, och vattnet i jorden måste därför alldeles övervägande anses som en faktor, som kraftigt nedsätter genomluftningen och bidrar till höga p_+ och p_- .

7) De ytliga skiktens aktivitet och lufthalt inverka på samtliga underliggande skikts p_+ och p_- . En partiell tillstoppning av ytlagrets porer eller en ökad aktivitet i ett lager strax under ytan — t. ex. till följd av ytlagrets uppvärmning — räcker alltså att åstadkomma ökade p_+ och p_- hela vägen i underliggande skikt. Omvänt inverkar aktiviteten i de undre skikten på de övres p_+ och p_- .

AVD. III.

DEN EKOLOGISKA BETYDELSEN AV ETT SYRE-
DEFICIT OCH KOLSYREÖVERSKOTT I MARKEN.

KAP. 9. Några experimentella data.

Rötternas syrebehov. Redan INGENHOUS (1779) fann, att växternas rötter likasom i allmänhet alla icke gröna växtdelar »förstöra luften» både dag och natt, i motsats till de gröna organen, som blott förstöra luften om natten, men om dagen däremot »förbättra» eller »deflogistonisera» den. Rötterna förbruka syre, säga vi nu. Biologiskt sett betyder detta att rötterna behöva syre. Över den ekologiska sidan av saken har redan SAUSSURE (1804) reflekterat: »en växt, vars rötter plötsligt bli övertäckta av stagnerande vatten lider därav mycket förr än om den råkat ut för samma olyckshändelse genom rinnande vatten. Syrgasen i det ruttnande vattnet blir snart förbrukad, men i det rinnande vattnet blir det ingen brist därpå. Man må lägga märke till att ruttnande vatten är nyttigare för växterna än rent vatten, när det gives dem genom måttliga bevattningar under beröring med syrgas. Man kan av dessa iakttagelser sluta, att när marken är alltför fuktig de flesta växter lida därav ej blott emedan vatten bjudes dem som näringsämne i alltför stora kvantiteter, utan även därför att deras rötter nästan ej alls komma i beröring med den yttre luften.» Redan SAUSSURE belyste för övrigt saken genom experiment: han höll unga hästkastanjer i vattenkultur och fann, att dessa dogo inom 7 till 14 dagar, om luftrummet i den rötterna omgivande recipienten var kväve, väte eller kolsyra, medan de förblevo friska till försökets slut (tre veckor) i de kärl, där gasen var luft. Han fann även, att plantorna dogo förr i kolsyre-atmosfär än i kväve eller väte, så att kolsyran utövar en skadlig inverkan även på annat sätt än genom att förtränga den syrehaltiga luften. SAUSSURE fann i överensstämmelse därmed, att kolsyra redan i en koncentration av 8 % hämmade groningen av frön. »Det tycktes mig alltid», säger han vidare, »som om groningen ginge fortare i fuktig sand eller mellan två fuktiga svampar än i humus, och som om den senare producerade kolsyregas». Den slutsats, som ligger i dessa ord, har fullständigt bekräftats av senare undersökningar.

Kritiska koncentrationer. Att växtrötterna behöva syre och avsöndra kolsyra och att den senare i vissa koncentrationer verkar skadligt är emellertid ej nog för att göra markluftningen till en ekologisk faktor av

betydelse. Problemet är detta: spela de i marken, i de biologiskt betydelsefulla skikten, verkligen förekommande värdena av syrebrist eller kolsyreöverskott en roll för de ifrågakommande organismernas trevnad? Förekommer det, att de kritiska värdena överskridas? Förekomma avsevärda specifika differenser mellan olika förekommande organisms krav i detta fall, tillräckliga och med sådana absoluta värden, att man har anledning anta, att markluftningen spelar en roll som ståndortsfaktor?

I den ofantliga litteratur, som sett dagen sedan SAUSSURES tid, föreligga en stor mängd erfarenheter, som mer eller mindre ha intresse för den föreliggande frågan, men trots detta torde man kunna säga, att möjligheterna att i konkreta fall värdera den ekologiska betydelsen av ett givet syredeficit eller kolsyreöverskott i marken ännu i de flesta fall ej är stor. Här nedan en provkarta på de erfarenheter, som man har att hålla sig till. Något fullständigt litteraturreferat har jag så mycket mindre haft anledning eftersträva som ett enbart litteraturrefererande arbete om bortåt 200 sidor av CLEMENTS (1921) över dessa saker nyligen utkommit.

I tabellerna IX och X har jag sammanställt experimentellt funna data angående kritiska kolsyre- och syrekoncentrationer för diverse livsprocesser hos organismer eller organ, som äro hänvisade till livet i jorden eller kunna förekomma däri. Man finner först och främst, att betydliga specifika olikheter förekomma med avseende på de koncentrationer, som kunna uthärdas. Om man överblickar uppgifterna för de lägre kolsyreöverskott och syredeficit, som ha någon inverkan, — tabellerna efter-

Tabell IX. Kritiska syrgaskoncentrationer, -deficit och -tryck.
Kritische Sauerstoffkonzentrationen, -Defizite und -Drucke.

O ₂ , vol.-%	O ₂ - def., vol.-%	O ₂ -tryck, bråkdelar av normala O ₂ -Druck, Bruchteile des normalen	E f f e k t	K ä l l a Q u e l l e
21	0	1	Blöta <i>Xanthium-canadense</i> -frukter med skal gro ej i luft, däremot i ren syrgas. — Nasse <i>Xanthium</i> -Früchte in der Fruchtschale keimen nicht in Luft, dagegen in reinem O ₂ .	CROCKER, CLEMENTS p. 76.
16	5	$\frac{3}{4}$	<i>Coleus</i> led efter 3 dagar, dog efter 45 dagar, med en markluft av $\frac{3}{4}$ luft, $\frac{1}{4}$ kväve. — <i>Coleus</i> litt in 3 Tagen, starb in 45 Tagen bei $\frac{1}{4}$ N ₂ -Zusatz in der Bodenluft.	CANNON & FREE 1917.
10,5	10,5	$\frac{1}{2}$	Ännu ingen skadlig inverkan hos <i>Nerium</i> . — Nocht keine schädliche Einwirkung bei <i>Nerium</i> .	D:o.

O ₂ , vol.-%	O ₂ - def., vol.-%	O ₂ -tryck, bråkdelar av normala O ₂ -Druck, Bruchteile des normalen	E f f e k t	K ä l l a Q u e l l e
		$\frac{1}{2}$	Något nedsatt rottillväxt hos <i>Faba</i> . — Ein wenig verminderter Wurzelzuwachs bei <i>Faba</i> .	WACKER 1898.
10	11	0,48	I längden sisterad rottillväxt hos <i>Opuntia versicolor</i> (efter 4—5 dagar) och <i>Prosopis velutina</i> (efter 9—11 dagar). — Auf die Dauer sistierter Wurzelzuwachs bei <i>Opuntia</i> und <i>Prosopis</i> .	CANNON 1918 a.
7	14	$\frac{1}{3}$	Rottillväxten hos <i>Opuntia</i> sisterad efter 1 dag, hos <i>Prosopis</i> efter 2—5 dagar. — Wurzelzuwachs bei <i>Opuntia</i> nach 1 Tag, bei <i>Prosopis</i> nach 2—5 Tagen sistiert.	D:o.
6	15	0,29	Nitratbildningen i jord nedsatt med 11—41 % i 4—7 månaders försök. — Nitratbildung 11—41 % herabgesetzt in Erde bei 4- bis 7-monatslangen Versuchen.	SCHLÖSING 1873.
6	15	0,29	Abnorm ämnesomsättning hos rötter av korn, majs, bovete, beta, hyacint. — Abnormer Stoffwechsel bei Wurzeln von Gerste, Mais, Buchweizen, Beta, Hyazinthe.	STOKLASA & ERNEST 1908.
4,6	16,4	0,22	Rötter av <i>Opuntia</i> stoppade tillväxten genast eller inom 2 dagar, rötter av <i>Prosopis</i> inom 2—5 dagar. — Sofort oder binnen 2 Tagen sistierter Wurzelzuwachs bei <i>Opuntia</i> , bei <i>Prosopis</i> binnen 2—5 Tagen.	CANNON 1917—1918 a.
3	18	0,14	Ingen rothårsbildning hos potatis. — Keine Wurzelhaarenbildung bei Kartoffel.	VÖCHTING, CLE- MENTS p. 17.
		0,22—0,10	Nog för groning och groddtillväxt hos vete, havre, hirs, pumpa, åkerkål, sallat; tillväxten dock delvis långsammare än normalt. — Keimung und Keimlingzuwachs, jedoch teilweise verlangsamter Zuwachs, bei Weizen, Hafer, Hirse, <i>Cucurbita</i> , Rübsen, Salat.	LUKAS, CLE- MENTS p. 74.
2,7	18,3	0,13	<i>Opuntia</i> -rötter stoppade tillväxten genast eller inom 1 dag, <i>Prosopis</i> rötter inom 1—5 dagar. — <i>Opuntia</i> -Wurzeln hörten sofort oder binnen 1 Tag, <i>Prosopis</i> -Wurzeln binnen 1—5 Tagen auf zu wachsen.	CANNON 1917—1918 a.
2	19	0,10	Potatisknölar skjuta ej mer. — Kartoffelknollen spriessen nicht mehr.	VÖCHTING, CLEMENTS p. 17.

O ₂ , vol.-%	O ₂ - def., vol.-%	O ₂ -tryck, bråkdelen av normala O ₂ -Druck, Bruchteile des normalen	E f f e k t	K ä l l a Q u e l l e
2	19	O ₁₀	Hos lök stoppar rottillväxten genast, men är ej märkbart nedsatt hos <i>Juncus</i> sp., <i>Mesembryanthemum aquilaterale</i> , <i>Potentilla anserina</i> , <i>Salix</i> sp. — Wurzelzuwachs sofort sistiert bei Gartenzwiebel, dagegen nicht merklich beeinflusst bei den anderen genannten Arten.	CANNON 1920.
		O ₁	Något nedsatt rottillväxt hos solros. — Wurzelzuwachs ein wenig geschwächt bei <i>Helianthus</i> .	WACKER 1898.
		O ₁₀ —O ₀₃	Ingen groning hos åkerkål- och sallatsfrö; groning, men ingen vidare tillväxt, hos havre, vete, hirs, pumpa. — Rübsen- und Salatsamen keimen nicht; Hafer, Weizen, Hirse, <i>Cucurbita</i> keimen, wachsen aber nicht Weiter.	LUKAS, CLEMENTS p. 74.
		O ₀₇ —O ₀₃	Majs, korn och krasse gro långsammare än normalt. — Mais, Gerste, Kresse keimen langsamer als normal.	BERT, CLEMENTS p. 80.
1,5	19,5	O ₀₇	Nitratbildningen i jord i ett fall nedsatt med 72%, i ett annat fall hindrad (denitrifikation) i 4—7 månaders försök. — Nitratbildung in Erde mit 72% erniedrigt, in einem anderen Fall Denitrifikation.	SCHLÖSING 1873.
1,5	19,5	O ₀₇	Gränsvärde för nödortfögt rottillväxt hos arter, om resten av luften är kväve. — Grenzwert für Wurzelzuwachs bei Erbsen, wenn das übrige Gas Stickstoff ist.	CANNON & FREE 1920.
1	20	O ₀₅	Rottillväxten fortsätter flere dagar hos <i>Juncus</i> sp., <i>Potentilla anserina</i> , <i>Salix</i> sp., <i>Mesembryanthemum</i> (<i>Juncus</i> 7 dagar). — Wurzelzuwachs dauert bei den genannten Arten mehrere Tage fort (bei <i>Juncus</i> 7 Tage).	CANNON 1920.
O ₅	20,5	O ₀₂	<i>Mesembryanthemum</i> -rötter växte över 5 dagar, <i>Potentilla</i> -rötter över 3 dagar, ris 13 dagar. — Wurzeln von <i>Mesembryanthemum</i> wuchsen über 5 Tage, von <i>Potentilla</i> über 3 Tage, von Reis 13 Tage.	D:o.
		O ₀₂ —O ₀₁	Ännu groning hos <i>Xanthium</i> -frön utan skal. — Geschälte <i>Xanthium</i> -Samen keimen noch.	SHULL, CLEMENTS p. 76.
		O ₀₁	Frön av majs, korn, krasse gro ej alls. — Samen von Mais, Gerste, Kresse keimen nicht.	BERT, CLEMENTS p. 80.

O ₂ , vol.-%	O ₂ - def., vol.-%	O ₂ -tryck, bråkdelar av normala O ₂ -Druck, Bruchteile des normalen	E f f e k t	K ä l l a Q u e l l e
		0,0	Groddar av <i>Alisma Plantago</i> växte 60 % av det normala under 21 dagar i vakuum. — Keimlingzuwachs von <i>Alisma Plantago</i> 60 % des normalen während 21 Tagen in Vakuum.	CROCKER & DAVIS, CLEMENTS p. 85.
0	21	0,0	<i>Salix</i> sp. växte normalt med O ₂ -fri jordluft 10 veckor. — <i>Salix</i> sp. wuchs normal ohne O ₂ im Boden 10 Wochen.	LIVINGSTON & FREE 1916, CANNON & FREE 1917.
0	21	0,0	<i>Prosopis</i> -rötter slutade växa efter 4—6 dagar. — <i>Prosopis</i> -Wurzeln wuchsen 4—6 Tage.	CANNON 1918 a.
0	21	0,0	<i>Juncus</i> -rötter växte 7 dagar. — <i>Juncus</i> -Wurzeln wuchsen 7 Tage.	CANNON 1920.

Ann. När i ovanstående tabell endast partialtrycket är angivet, betyder det att detta åstadkommits genom luftförtunning. »CLEMENTS» med sidhänvisning efter auktorsnamnet betyder, att uppgiften hämtats ur CLEMENTS 1921, angiven sida. (Likadant i följande tabell.) — Wo in obiger Tabelle nur Partialdrucke angegeben sind, bedeutet dies, dass die betreffenden Partialdrucke durch Luftverdünnung erreicht wurden. »CLEMENTS» mit Seitenhinweis bedeutet (wie in der folgenden Tabelle), dass die Angabe aus CLEMENTS 1921 geholt worden ist.

Tabell X. Kritiska kolsyrekoncentrationer.

Kritische Kohlensäurekonzentrationen.

CO ₂ , vol.-%	E f f e k t	K ä l l a Q u e l l e
1—3	Minskad andningsintensitet hos vilorgan. — Geschwächte Atmung bei Ruheorganen.	MANGIN, CLEMENTS p. 15.
2	Vid 3° C groningen till 90 % hindrad hos frön av <i>Brassica alba</i> . — Bei 3° C Keimung zu 90 % gehindert bei Samen von <i>Brassica alba</i> .	KIDD 1914.
2—4	Börjande hämning av rottillväxten hos <i>Phaseolus</i> . — Beginnende Hemmung des Wurzelzuwachses bei <i>Phaseolus</i> .	BÖHM 1873.
3	Börjande hämning av rottillväxten hos <i>Vicia sativa</i> . — Beginnende Hemmung des Wurzelzuwachses bei <i>Vicia sativa</i> .	CHAPIN 1902.
4	Vid 3° C groningen totalt hindrad hos frön av <i>Brassica alba</i> . — Bei 3° C Keimung ganz gehindert bei Samen von <i>Brassica alba</i> .	KIDD 1914.

CO ₂ , vol.-%	E f f e k t	K ä l l a Q u e l l e
5	Frisk- och torrsviktstillväxten nedsatt, vid angiven halt av CO ₂ i markluften, hos lupiner och råg vid långa försök. — Erniedrigung des Frischgewicht und Trockengewichtzuwachses, bei angegebenem Gehalt von CO ₂ in der Bodenluft, in langgedauerten Versuchen mit Lupinen und Roggen.	JENTYS 1892.
5	Börjande hämning av rottillväxten hos ärter. — Beginnende Hemmung des Wurzelzuwachses bei Erbsen.	CHAPIN 1902.
5	Försenad groningen hos frön. — Verspätete Keimung von Samen.	BÖHM, CLEMENTS p. 73.
6	Hyftillväxten hos <i>Merulius domesticus</i> nedsatt till 7—12 % av normala. — Hyphenzuwachs bei <i>Merulius domesticus</i> auf 7—12 % des normalen herabgesetzt.	FAICK 1916.
9	Vid 7° C groningen totalt hindrad hos <i>Brassica-alba</i> -frön. — Bei 7° C Keimung ganz gehindert bei <i>Brassica-alba</i> -Samen.	KIDD 1914.
10	Groningen av <i>Mucor</i> -sporer något försenad. — Keimung von <i>Mucor</i> -Sporen etwas verspätet.	LOPRIORE 1895.
10	Ingen sporbildning hos <i>Mucor stolonifer</i> vid över 10% CO ₂ . — Keine Sporenbildung bei <i>Mucor stolonifer</i> bei über 10% CO ₂ .	CHAPIN 1902.
16	Ingen groningen hos krassefrön. — Keine Keimung bei Kressesamen.	CL. BERNARD, CLEMENTS p. 74.
20	Försenad groningen och trög tillväxt hos <i>Mucor</i> . — Verspätete Keimung und träger Zuwachs bei <i>Mucor</i> .	LOPRIORE 1895.
25	Rottillväxten sisterad efter några timmar hos <i>Covillea tridentata</i> , <i>Krameria canescens</i> , <i>Mesembryanthemum</i> sp. — Wurzelzuwachs bei den genannten Arten nach wenigen Stunden sistiert.	CANNON 1919 b.
33	Groning, men ingen vidare tillväxt, hos ärter. — Keimung, aber kein weiterer Zuwachs, bei Erbsen.	JOHN, CLEMENTS p. 73.
36	Ingen groningen hos krassefrön, däremot hos sallat. — Keine Keimung bei Kressesamen, wohl aber bei Salat.	LINOSSIER, CLEMENTS p. 74.
40	Hos <i>Mucor</i> 17 gånger försenad sporgroning, efter 2—3 dagar sisterad hyftillväxt. — Bei <i>Mucor</i> 17 mal verspätete Sporenkeimung, nach 2—3 Tagen sistierter Hyphenzuwachses.	CHAPIN 1902.
50	Dubbelt försenad groningen hos <i>Aspergillus-niger</i> -sporer. — Doppelt verspätete Keimung bei <i>Aspergillus-niger</i> -Sporen.	D:o
60	Ingen sporbildning hos <i>Penicillium glaucum</i> , ingen sporgroning hos <i>Mucor</i> . — Keine Sporenbildung bei <i>Penicillium</i> , keine Sporenkeimung bei <i>Mucor</i> .	D:o

CO ₂ , vol.-%	E f f e k t	K ä l l a Q u e l l e
80	Ingen hyftillväxt hos <i>Aspergillus</i> , ingen eller ringa hos <i>Penicillium</i> . — Kein Hyphenzuwachs bei <i>Aspergillus</i> , kein oder gering bei <i>Penicillium</i> .	CHAPIN 1902.
90	Hos sporer av <i>Aspergillus</i> och <i>Penicillium</i> 5 resp. 12 gånger försenad groning. — Keimung bei <i>Aspergillus</i> - und <i>Penicillium</i> -Sporen 5 bzw. 12 mal verspätet.	D:o
99,8	Ännu tillväxt hos jäst. — Zuwachs noch nicht sistiert bei Hefe.	BREFELD, CLEMENTS p. 95.
100	Ingen skadlig inverkan på rötter av <i>Salix</i> sp. ännu efter 10 veckor. — Keine schädliche Einwirkung an Wurzeln von <i>Salix</i> sp. noch nach 10 Wochen.	CANNON & FREE 1917.

sträva en viss fullständighet; sålunda har jag medtagit alla uppgifter ur CLEMENTS 1921, där exakta värden finnas angivna, dock ej när uppgifterna gälla skadlig inverkan av övernormala syretryck, som ju knappt ha något intresse i detta sammanhang — så blir man även benägen för den slutsatsen, att vid ett syredeficit och ett kolsyreöverskott på vardera några procent det ej är uteslutet, att det senare är farligare än det förra. Kolsyran, detta växternas — näst vatten — viktigaste näringsämne, har redan i koncentrationer av några procent i flera fall visat sig utöva giftverknningar, medan majoriteten av växternas livsyttningar i regel förlöpa normalt vid alla möjliga syrekoncentrationer inom mycket vida gränser.

Emellertid är det en sak, som det är ytterst nödvändigt att lägga märke till, och det är den stora skillnaden mellan ett fysiologiskt försök och förhållandena ute i naturen. Avvikelser från det normala, så små, att de ej utöva någon märkbar inverkan i ett som oftast kortvarigt fysiologiskt experiment, kunna i längden bli av avgörande betydelse. Till demonstration härav behöver endast hänvisas till det bekanta faktum, att kulturförsök i allmänhet äro så svåra att få att lyckas rätt väl. »Kulturförsök höra till de allra kinkigaste experiment», säger FR. DARWIN i sin lilla handledning i växtfysiologi (citerat ur minnet). I ett kortvarigt fysiologiskt experiment kan man misshandla objekten rätt friskt och ändå få användbara resultat; vid kulturförsöken addera sig i längden alla våra missgrepp och all vår okunnighet om växtens behov till ett resultat, som ofta blir växtens död. Denna tidsfaktorns stora betydelse framgår delvis redan ur siffrorna i tabellerna IX och X.

Vad speciellt rötternas syrebehov beträffar, ha de fysiologiska för-

söken lärt oss, att vid mindre syretryck andningen, mätt såsom kolsyreproduktion, visserligen till en början avtar endast obetydligt eller i vissa fall ej alls (jfr JOST 1913 p. 265, CLEMENTS 1921 p. 80—81), men den förlöper ej längre normalt. En större eller mindre del därav utgöres vid otillräckligt syretryck av s. k. intramolekylär andning, ett fullständigt motstycke till den av jästsvampar förorsakade alkoholjäsningen, och därvid bildas alkohol och andra produkter, som i längden uppnå skadliga koncentrationer. Dylika abnormiteter i ämnesomsättningen inträda nu efter vad STOKLASAS & ERNESTS försök ha lärt oss hos en hel rad växter redan vid en syrebrist av 15 %. Ett sådant värde å syrebristen är visserligen allt annat än vanligt i markluften, men förekommer dock i extrema fall. Vi skola nedan närmare diskutera denna viktiga sak.

Markens »två atmosfärer»; aërotropism. Vid bedömande av de absoluta siffrorna måste man vidare tänka på, att om man så vill man kan tala om två atmosfärer i marken (RUSSELL & APPELYARD 1915), en syrerik och kolsyrefattig, den som markluftanalyserna gälla, och en betydligt syrefattigare och kolsyrerikare, som är absorberad och löst i jorden. Som bekant kunna anaëroba organismer som stelkrampsbakterien förekomma även i jord, som i stort sett är väl genomluftad. Man har vissa experimentella hållpunkter för hur man har att tänka sig detta, genom en skiktning i smått, så att anaëroberna skyddas från det för dem skadliga syret genom kringliggande syreförbrukande organismer. Det finns sålunda även i väl genomluftad jord lokala syrebristcentra, och de värden, som markluftanalyserna ge, äro därför som regel (undantagen utgöras av risfält o. dyl. marker, där särskilda förhållanden råda, om vilka skall bli tal nedan) minima för syrebrist och kolsyreöverskott för de djup det gäller. Å andra sidan ha säkert de ifrågavarande organismerna och organen i stor utsträckning förmågan att uppsöka de fördelaktigaste koncentrationer av syre och kolsyra, som stå till buds. Välkänd är den s. k. aërotaxis hos bakterier m. fl. Den motsvarande retbarheten hos rötter (aërotropism) är visserligen ett något tvistigt kapitel, och delvis stå resultat mot resultat (jfr BENNET 1904 och SAMMET 1905). På tillvaron av en retbarhet hos rötter, som gör det möjligt för dem att rädda sig ur områden med alltför dålig syretillgång, behöver man likväl efter MOLISCHS (1884; ärter, majs), EWARTS (1894—96; ärter, hampa, solros, pumpa), POLOWZOWS (1909; solros, lupin) och CLEMENTS (1921, p. 32—33; solros, böna) försök knappt tvivla. Om krökningarna äro positiva reaktioner på syrgas eller negativa reaktioner på kolsyra eller eventuellt andra skadliga produkter är visserligen något osäkert. Den biologiska effekten blir i alla fall densamma. Reaktionerna ha tydligt

kommit till synes endast vid höggradig syrebrist (i vatten, i vattenmättad jord och i jord, där luftrummen fyllts med kväve eller väte). Även BENNET, vars resultat eljes äro genomgående negativa, fann positiva krökningskurvor mot diffusionsströmmen av syre i vatten som genombubblats med kolsyra (p. 246; *Raphanus sativus*).

Specifika differenser. Den viktigaste slutsats, vi kunna dra av siffrorna i tabellerna IX och X, är den, att det finns stora specifika skillnader mellan olika växter med avseende på de syre- och kolsyrekoncentrationer, som de utan olägenhet uthärda, och det även mellan former av samma biologiska typ (att det, om hela växtriket tas till hjälp, ej är svårt att ställa upp hela serier av övergångar från obligata anaërober, d. v. s. organismer, för vilka syre redan i låg koncentration är ett gift, till sådana former, som lida redan av en måttlig nedsättning av syretrycket, är ju bekant). De absoluta siffrorna intressera oss så mycket mindre direkt som de ej gälla våra skogsträd utan mest majs, ärter, bönor och dylika växter, som nu en gång av tekniska skäl mer tilltala fysiologerna. Emellertid kunna vi lägga märke till att i intet fall någon skadlig inverkan av ett mindre kolsyreöverskott eller syrebrist än ett par procent kunnat förmärkas. Att *Xanthium*-fröna ej gro i luft så länge fruktskalet är oskadat kan man nämligen ej påstå betyda, att luft skadar dem. Det är helt enkelt en egenhet hos dem, som de kanhända rentav ha någon nytta av.

Till ytterligare belysning av de specifika skillnaderna skall nedan anföras en del mer kvalitativt lagda försök.

JENTYS' försök äro delvis refererade ovan i tab. X. I försöket studerades utom de där nämnda växterna även vete; detta visade i motsats till de andra växterna ingen produktionsmiskning vid de använda CO₂-koncentrationerna (upp till 12 %).

— BABCOCK (CLEMENTS p. 22) fann, att endast vattenväxters frön och groddplantor kunde reda sig med den syremängd, som finns löst i vatten, och gro och växa bra under vatten.

NOYES (1914) fann, att en markatmosfär av ren CO₂ stoppade tillväxten och framkallade sjukliga förändringar hos tomat och majs; sedan CO₂-behandlingen efter två veckor avbröts, dog tomatplantan, men majsplantan repade sig. I ett större anlagt försök odlade NOYES, TROST & YODER (1918) diverse växter (spansk peppar, sallat, rädisor, bönor) i plåtkrutor, och i vissa av dessa matades jorden underifrån med en CO₂-ström, antingen hela försökstiden eller 8 timmar om dygnet. Efter försökstidens slut (4 månader) visade sig skillnader mellan de olika försöksväxterna. Den spanska pepparn visade sig mest påverkad; rot-systemet var i kolsyrekrutorna förkrympt och inskränkt till de ytligaste

5"—7" av krukorna, under det kontrollerna visade förekomst av rötter ned till krukornas botten (1' 6"). Likartat, fast mindre markerat, var förhållandet med sallat och rädisor. Bönorna däremot (*Phaseolus vulgaris*) hade även i kolsyrekruckorna sänt rötter ända ned i botten, de voro rent av kraftigast och bäst utbildade i 8-timmarskulturerna (jfr BÖHMS resultat med *Phaseolus* ovan tab. X; ser märkvärdigt motsäggande ut!) och växte i de ständigt CO₂-behandlade krukorna ända intill de öppningar i botten, genom vilka gasen inleddes. De koncentrationer, som rädde i krukorna på olika djup äro ej angivna; efter uppgifterna om dimensioner och kolsyredosering kan skattningsvis beräknas, att koncentrationen i heldygnskruckorna på 5" djup, där de känsligaste växternas rötter upphörde, var 10 %; i botten bör den ha överstigit 30 %.

En hel del av CANNONS, FREES och LIVINGSTONS resultat framgå redan av tabellerna ovan. Förutom *Coleus* var även *Heliotropium peruvianum* ganska känslig för syrebrist (LIVINGSTON & FREE 1916, 1917). *Nerium oleander* å andra sidan närmade sig betydligt mera den undersökta *Salix*-arten. En skadlig inverkan av ren kvävgas omkring rötterna märktes först efter 26 dagar (CANNON & FREE 1917). Skillnader mellan de båda särskilt flitigt jämförande undersökta *Prosopis velutina* och *Opuntia versicolor* visade sig även däri, att rottillväxten i luft återupptogs hastigare hos den förra än hos den senare, sedan den hämmats genom kolsyra (CANNON 1916). Senare har ett större antal växter upptagits till jämförelse, varvid det t. ex. visat sig, att en ren kvävgas-atmosfär kring rötterna hämmar skotttillväxten högst betydligt olika för olika växter. Hos luktärt nedsattes den till hälften i ett dygns långt försök, hos en potatishybrid stoppade tillväxten genast eller gick ned till exempelvis $\frac{3}{10}$. Skott av tomat fortsatte att växa, fast med avtagande hastighet, i 4 dagar, och en *Ipomæa*-art slutligen visade i ett 2 dygn långt försök endast obetydlig hämning av skottväxten. (CANNON 1919 a.)

BERGMAN (1920) har demonstrerat, att mesofila kulturväxter ej tåla vid fullständigt vattendränkt jord, vilket däremot *Cyperus alternifolius*, *Ranunculus abortivus* och *sceleratus* samt *Sagittaria* visade sig göra. *Ranunculus*-arterna växte till och med bättre i vattendränkt än i fuktig mark (3 månaders försök). De växter, som ledo av vattendränkningen, kunde räddas till livet genom konstgjord luftning. Efter en tid hade de bildat nya rötter nära ytan och kunde nu reda sig själva även utan särskild luftning.

Frön av landväxter gro i allmänhet dåligt eller ej alls under ett t. ex. decimetertjockt vattenskikt, såvida detta ej genomluftas med konst (KRAUS 1901). För frön av *Alismacéer* ger däremot 5—12 cm djupt vatten

optimala betingelser för groningen och vidare utveckling (GLÜCK 1905 p. 281). Den stora känslighet hos groningen av vissa växters frön för kolsyra och för syrebrist kan i förbigående sagt utan tvivel i viss utsträckning tolkas som en inrättning med bestämt biologiskt syfte, för att tala teleologiskt, och intar måhända en särställning. Dvalan hos våta frön av syrebehövande växter torde åtminstone ej sällan vara en kolsyredvala (jfr DEHERAIN & LANDRIN 1874, KIDD 1914, 1916, KIDD & WEST 1917). Under detta tillstånd behöver fröet ej lida, det bidar blott sin tid.

Intressanta äro THATCHERS (1921) resultat med *Salix pentandra*, jämförda med de ovan i tabell IX och X citerade resultaten med Carnegieinstitutionens speciella namnlösa *Salix*-art. Som av tabellerna framgår, tycks denna senares rotsystem kunna leva hur länge som helst i en atmosfär av ren kvävgas eller till och med ren kolsyra. *Salix pentandra* däremot tycks ha bestämda krav på en viss syrehalt i jorden, ty vid odling i dränerad ehuru fuktig *Eriophorum*-torv bildade den rötter och växte trivsamt, däremot ej i odränerad mark. Även växter som såväl systematiskt som biologiskt äro mycket närstående synas alltså kunna visa avgörande olikheter med avseende på rötternas syrebehov.

För övrigt framgår av CHAPINS i tab. X refererade resultat, att för samma organism olika funktioner hämmas vid olika kolsyrekoncentrationer, och detta gäller väl även i lika mån koncentrationer av syre. CANNON (1917) har funnit, att olika långa (olika gamla?) rötter hos *Prosopis* och *Opuntia* stoppade tillväxten olika hastigt vid syrebrist. Härvid voro hos den förra arten de längre, hos den senare de kortare rötterna känsligast för syrebristen. Rothårsbildningen är hos många växter sisterad vid en syretillgång, som dock tillåter rotsystemet att växa och fungera. Majsrötter t. ex. växa släta i vattenkultur och rothårsbildningen visade sig störd i fuktig luft med ungefär halva normala syrehalten. Även här visa sig mellan olika växter stora specifika differenser. En *Salix* bildade t. ex. rothår bättre i vatten än i luft (SNOW 1905).

Akut verkan av gasutbyttets strypning. En funktion hos roten, vars upphörande redan mycket snart blir ödesdigert för växten i dess helhet, är vattenupptagandet. Om rotsystemet hos en växt övergående träffas av syrebrist och på den grund inställer tillväxten under t. ex. en vecka, så kan detta vara skäligen betydelselöst för växtens bestånd. Det finns alltid veckor kvar att växa på. Om däremot vattentransporten strypes under en vecka, kan detta ha fullständigt ödesdigra följder, ty om ovanjordsdelarna ha vissnat tillräckligt, kunna de ej mer repa sig. Det har nu visat sig, att en avstängning eller för stark hämning av syretillförseln till syrebehövande rotsystem bland annat medför en höggradig försvåring av vattenupptagandet. Därvid är det ej nog med att rottryc-

ket upphör (WIELER 1892, CHAMBERLAIN 1897 pp. 263, 319), utan den rent passiva vattenfiltrationen genom roten under inflytande av en sugning uppifrån försvåras även i hög grad (JOST 1916). Det visar sig också, att ovanjordsdelarna börja sloka och vissna, om syretillförseln till rötterna upphör. I FREES & LIVINGSTONS försök (F. & L. 1915, L. & F. 1917) med *Coleus blumei* och *Heliotropium peruvianum* siterades vattenupptagningen genom rötterna inom 12—24 timmar och inom 1—6 dagar började plantorna vissna. Kolsyra i för stark koncentration försvårar även vattentransporten (KOSAROFF 1897, 1900).

Landväxter, som få sitt rotsystem översvämmat, kunna i själva verket dö av vattenbrist på grund av rotsystemets kvävning. Om vattnet omkring rötterna genomluftas, när plantorna börja vissna, så kan spänstigheten återvinnas och plantorna hämta sig (BERGMAN 1920).

Vattenkulturer. Att vanliga landväxter, som varje fysiolog vet, trivas så dåligt i vattenkultur, beror ganska säkert framför allt på att deras rotsystem ej kan reda sig med den dåliga syretillförseln genom vattnet, så att transpirationsströmmen blir för dålig. Det är mycket svårt att få växter i vattenkultur att blöda, även om det är fråga om goda blödare (jfr CHAMBERLAIN 1891 p. 328, JOST 1916 p. 17). Man har även ofta funnit, att plantornas tillväxt blir bättre, om kulturerna genomluftas (t. ex. ARKER 1901; lupin och solros; HALL, BRENCHLEY & UNDERWOOD 1914; korn och lupin; cit. efter CLEMENTS 1921 p. 17 och 23; jfr även KRAUS' ovan citerade gröningsförsök). I andra fall har man visserligen ej funnit någon dylik effekt; sålunda fann WACKER (1898) med solros och bondeböna ingen förbättring av rötternas längdtillväxt vid luftning och hänför därför den sämre växten i vattenkultur till det ovana mediet. Ännu mycket sämre tillväxt fann han likväl i vattendränkta jord, vilket ej talar för hans uppfattning. FREE (1917) fann ej heller någon effekt av luftning i vattenkulturer med bovete, vilket är märkligt, då bovete i KRAUS' försök visade sig mycket tacksamt för luftning. Mindre förvånande är att HOLE & SINGH i vattenkulturer med *Shorea robusta* ej funno något utslag, då *Shorea*-plantorna äro inställda på större syrebrist och kolsyrehalt än som fanns även i de oluftade kulturerna.

Om gynnsam verkan av extra luftning i normalt lufthaltig jord har jag å andra sidan i litteraturen ej kunnat finna mer än en uppgift som förefaller något så när säker. CANNON (1915 a) berättar, att i ett 8 timmars försök med *Opuntia versicolor*, där jorden omväxlande 2 timmar genomsögs med luft, 2 timmar ej, växte *Opuntia*-rötterna under perioden med luftning i genomsnitt 1,6 mm, under mellantiden 1,3 mm. Resultaten voro likväl enligt författarens egen uppgift ej »entirely consistent»,

och särskilt vill det synas som temperaturen varit en felkälla, svår att komma från. DAYS (1906; CLEMENTS p. 19) resultat förefalla ganska negativa. Daglig konstgjord luftning under vegetationsperioden åstadkom endast i ett fall tydligt utslag, och i detta fall visade sig även avkomman av de snabbväxande (alltså luftade) plantorna nästa år ge lika mycket större avkastning som den skillnad som tillskrevs luftningen; det måste alltså vara något fel med dessa försök.

Att rötter med normalt syrebehov måste kunna lida av syrehunger i vattenkulturer, även om kulturvätskan står i beröring med luften, inses lätt, om man tänker på dels att vatten i beröring med luft vid vanlig temperatur löser endast omkring 7 cm^3 syre av normaltryck per liter, dels att diffusionskoefficienten i vatten är ungefär $1/10000$ av den i luft. Förrådet av syre i en viss volym vatten är alltså endast $1/30$ av det i samma mängd luft, men framförallt är tillförseln oerhört mycket långsammare, om vätskan är stillastående. Att växter sådana som våra sädesslag dock verkligen kunna fås att växa nödortfikt i vattenkultur visar att även deras rötter dock i nödfall kunna reda sig med en ytterligt nedsatt syretillförsel.

Är vätskan i livlig rörelse, ställer sig saken helt annorlunda. Om t. ex. rötterna ständigt omspolas av friskt vatten i diffusionsjämvikt med luften, så att halten av syre i vattnet närmast rötterna hela tiden ligger vid 7 cm^3 pr liter, så är syretillförseln till rötterna lika god som om de växte i en fuktig kammare med atmosfärisk luft. Ty det är dock till sist i löst form som syret måste passera in i och genom cellerna, och även i luft kan koncentrationen i det ytligaste skiktet av roten (gränsskiktet mot luften) ej nå högre värden än det nämnda.

Kronisk inverkan av gasutbytets strypning. Man har iakttagit, att kulturvätskan i vattenkulturer med tiden blir giftig. Detta visar sig t. ex., om man odlar flera generationer av ärtgroddar i samma portion vatten. Dylika försök ha utförts t. ex. av MOLLIARD (1915), som synes arbetat mycket noggrant och använde särskilt destillerat vatten och aseptiska försiktighetsmått. Den andra generationen rötter uppnådde i dessa försök på samma tid endast halva längden mot den första, och med flere förkulturer blev nedsättningen ännu större. Effekten kunde ej vara orsakad direkt av kolsyreansamling eller syrebrist, ty luftning, evakuering och CO_2 -mätning av vattnet mellan två ärtgenerationer inverkade ej nämnvärt på resultatet. Det måste alltså vara fråga om giftämnen, som avsöndras av rötterna.

De erfarenheter man gjort angående nyttan av ofta ombytt näringslösning i vattenkulturer förklaras väl delvis direkt genom den minskade genomsnittliga syrebristen i vattnet, dels genom bortskaffandet av toxiner.

Förbättringen visar sig även i mer än tillräckligt starka närlösningar, och närsalthunger kan därför ej gärna förklara saken (jfr STILES 1915). Kolrening av lösningen verkar även fördelaktigt, men i mindre hög grad än ombyte av lösningen. Skakning med benkol en gång i veckan verkade i TRELEASES & FREES (1917) försök lika stor ökning i torrsubstansproduktionen som ombyte av lösningen var fjortonde dag.

Åt samma håll peka SCHREINERS & REEDS (1907) försök med odling av vete, havre, majs och *Vigna Catjang* i agargel. Det visade sig, att rötterna krökte sig bort från använd agar. Förf. sluta från denna bortkrökning till förekomsten av giftiga exkretioner i den använda agarn. Att dessa exkretioner verkligen voro något annat än kolsyra eller syrebrist uppvisades dock icke.

NOYES & WEGHORST (1920) funno vid odling av sallat i de plåtburkar, som använts vid de ovan refererade kolsyreförsöken, att rot-systemet blev grundare och sämre utvecklat i de förut kolsyrebehandlade krukorna, sämst i de dygnet runt behandlade. Härvid är att märka, att 8 månader hade förflutit mellan kolsyrebehandlingen och sådden av sallatsfröt. Dessutom hade jorden varit uttagen en gång ur krukorna och ifyllt igen. Det är sålunda otänkbart, att kolsyran direkt var orsaken. Det vill i stället av dessa försök synas, som under inflytande av kolsyrebehandlingen andra, mindre flyktiga gifter bildats i jorden.

VAN DER WOLK (1918) berättar, att om han omgav spetsar av just utskjutande groddrötter av kokospalm med ett bandage av våt bomull och lät det sitta några dagar under ständig befuktning, och han sedan vattnade unga gräsplantor med det ur bandagen utpressade vattnet, så sjuknade dessa inom 2 dagar och dogo. Detta gjorde de däremot ej i »starkt kolsyrehaltigt» vatten, så att verkan ej anses kunna härröra sig från kolsyra. Då förbanden voro så våta, att man kunde krama vatten ur dem, torde de ifrågavarande starkt växande och andande rötterna ha stått under inflytande av en viss syrebrist.

BÖHM (1885, cit. efter SORAUER-GRÄBNER) fann att jorden kring rötterna av esplanadträd i Wien (*Ailanthus*), som sjuknat och dött, enligt vad som ansågs till följd av syrebrist kring rötterna gå grund av för djup plantering, verkade giftigt på andra växter, i det frön ej kunde fås att gro däri. Efter 8 dagars luftning i solen under upprepad bevattning var giftigheten hos jordproven borta.

Man har dock åtskilliga gånger trott sig påvisa en toxinexkretion hos rötter även i normal omgivning. Särskilt uppmärksammade ha de vid Woburn i England utförda försöken blivit. Det är en utbredd åsikt hos trädgårdsmästare, att fruktträd växa sämre, om marken är grästäckt än om den är naken. Denna sak undersöktes nu av PICKERING m. fl.,

och man fann verkligen en dylik hämning. Denna visade sig även då gräset fick växa i tråg, placerade ovanpå jorden i krukorna, där fruktträden växte. (Tillväxt av träden 73 % av normala, 3-åriga försök.) Å andra sidan verkade vattnings med vatten, som fått gå igenom grastrågen, men fått stå öppet i luften, ej nedsättning, utan tvärtom ökning av tillväxten. Det är därför enligt Woburnforskarnas åsikt fråga om ett toxin, som lätt oxideras till ämnen som i stället verka gödslande. HOWARD & HOWARD (1915 b p. 23) samt CLEMENTS (1921 p. 159) förmoda likväl, att det helt enkelt kan vara fråga om kolsyra och ingenting annat.

Enligt senare försök vid Woburn uppträder »gräseffekten» ej blott hos fruktträd, utan hos alla möjliga växter, och kan även förorsakas av allehanda växter och ej blott av gräs. Giftverkan uteblir som nämnt, om försöksväxterna vattnas med vatten, som fått stå tillräckligt länge (24 timmar) i luften, sedan det passerat igenom trågen med gräs, klöver etc., men den uteblir däremot ej, försvagas blott något, om ett 2 tum tjockt lager av pimpstensbitar inskjutes mellan trågen och krukjorden, där försöksväxterna växa. Å andra sidan uteblir effekten, om hålen i trågens botten (av porös lera) sätts igen, trots det trågen stå direkt på jorden i försökskrukorna och täcka denna till större delen. (PICKERING 1917).

Denna toxinproduktion synes alltså ej stå i något direkt samband med markluftningen. Om toxinet produceras omedelbart av växtrötterna eller uppstå av döda delar av gräs-, klöver etc. plantorna, som PICKERING framkastar som en möjlighet, framgår ej av försöken.

LUMIÈRE (1921) har funnit, att vissa frön absolut ej gro i infusion på döda, nyfallna löv (av platan, kastanj etc.). Infusionen reducerade Fehlings lösning och effekten förklaras som en verkan av syrebrist. Lika väl kan kanske en toxinverkan föreligga, som ej har med genomluftningen att göra.

Den sedan gammalt kända och omskrivna »tröttheten» hos vinjordar torde bero på en utveckling av mikrofloran eller -faunan i ogynnsam riktning, då den har kunnat hävas genom »partiell sterilisering» av jorden t. ex. med kolsvavla (KOCH 1899). Vid Rothamsteads berömda lantbruksstation har man genom mångåriga kulturförsök med råg sökt utreda om grödan efterlämnar något toxin i marken, som verkar ogynnsamt på en efterföljande, men med negativt resultat (RUSSELL 1917 p. 151).

Vid fysiologiska undersökningar, som särskilt inriktats på rotsekretionen, har man, då rötterna vuxit i vatten, kunnat fastställa en avsöndring av organiska syror (GOEBEL 1893 p. 211; CZAPEK 1896). Vid normal lufttillgång synes däremot inga organiska syror och överhuvud inga andra giftiga ämnen än kolsyra kunnat säkert påvisas, även då man valt

växter med särskilt sura »rotsekret» (CZAPEK 1896 p. 323 och 1920 p. 526; KUNZE 1906; STOKLASA & ERNEST 1908; ABERSON 1910). Förhållandet synes helt och hållet ha uppklarats av STOKLASAS & ERNESTS undersökning. Dessa forskare påvisade nämligen, att rötter av en hel rad växter, som vid normal syretillgång endast avgävo kolsyra och möjligen små mängder vätgas, i en atmosfär med 6 % syrehalt utsöndrade myrsyra, acetaldehyd och aceton, ibland även ättiksyra eller oxalsyra. Hos kornplantors rötter visade sig synbara sjukdomstecken (rötterna blevo bruna och rutnade delvis), som av förf. uppfattas som självförgiftningssymptom. Av de nämnda ämnena äro särskilt myrsyra och acetaldehyd starka växtgifter. STOKLASAS & ERNESTS försök ge alltså en enkel förklaring till att man funnit toxinbildning hos rötter i vattenkultur etc.

Man har alltså skäl att anta, att redan en tämligen måttlig syrebrist, som primärt ej förorsakar någon nämnvärd skada, kan sekundärt genom toxinbildning bli fördärlig, om den fortfar länge.

Toxiner i jorden. Toxiner i jorden ha de senaste åren studerats i stor utsträckning i Amerika. Man har funnit dylika dels i mossvatten och torvextrakt, dels i andra dåliga jordar.

Ej speciellt tillpassade växter, t. ex. våra vanliga kulturväxter, trivas ej i naturligt mossvatten eller i odränerad mosstov. Den ogynnsamma verkan åstadkommes utan tvivel delvis direkt av syrebristen eller kolsyrerikedomen; man har funnit, att giftverkan blev mindre utpräglad, om mossvattnet mellan insamlingen och försöket förvarades i okorkade flaskor (DACHNOWSKI 1908, p. 133—134), och konstgjord genomluftning upphäver den delvis, ibland fullständigt (TRANSEAU 1906 BERGMAN 1920). I många fall har dock giftverkan ej kunnat förklaras enbart av syrebristen eller kolsyreöverskottet och ej heller av mossvattnets surhet (LIVINGSTON 1905 b). Den eller de verksamma substanserna förflyktigas eller förstöras ej vid kokning (LIVINGSTON 1905 b, RIGG 1913) eller indunstning (RIGG & THOMPSON 1919). Däremot kunna de bortskaffas genom absorbens, t. ex. finfördelat kol (DACHNOWSKI 1908) och utfällas med ammoniumsulfat (RIGG & THOMPSON 1919), och de fastna delvis i jord, som begagnats som filtrum för mossvatten (DACHNOWSKI 1909). De tyckas alltså vara reversibla, icke flyktiga kolloider.

Förekomsten av giftämnena har av amerikanarna enstämmigt satts i samband med den dåliga genomluftningen. Efter torrläggning av mossar kan man som bekant få dem att ge skördar, och detta skulle då bero på förstöring av giftämnena genom oxidation. DACHNOWSKI (se t. ex. 1910) anser giftverkan tämligen direkt orsakad av anaëroba bakterier. Han fann nedsättning i tillväxten hos veteplantor i vattenkultur i sterilt mossvatten efter ympning med ur mossar isolerade bak-

terier. Syrebristens roll skulle alltså bl. a. vara den, att den gynnar uppkomsten av en ofördelaktig bakterieflora.

Vid den amerikanska Bureau of soils omfattande undersökningar över jordtoxiner har särskilt en substans tilldragit sig uppmärksamheten, och mångåriga undersökningar ha ägnats dess förekomst och fysiologiska verkan. Substansen är kemiskt definierad, den är dihydroxistearinsyra. De markbetingelser, under vilka den uppträder, äro »i allmänhet dålig dränering, dålig genomluftning, för stark packning, kalkbrist, dålig syrsättning». I dylika jordar har den funnits så ofta, att den måste anses som »en av huvudfaktorerna för dålig bördighet hos sådana jordar» (SCHREINER & LATHROP 1911). Substansen är mycket lättoxiderad och försvinner »genom processer som framkalla genomluftning och syrsättning» (SCHREINER & SKINNER 1910). Den är mycket giftig: redan i en koncentration av 5:100 000 utövar den en stark nedsättande effekt på utvecklingen av både rötter och blad hos vete. Rötterna ha ofta svullna ändar, bli ofta färgade och haklikt krökta (SCHREINER & SKINNER 1910). Dessa symptom har man även funnit vid förgiftning med mossvatten (jfr t. ex. MONTFORT 1921 p. 210 ff.). Tillsats av kalk och salpeter hjälper rötterna att övervinna skadan, enligt SCHREINERS uppfattning därigenom att dessa ämnen befordra oxidationen av det skadliga ämnet genom rötternas verksamhet (vanillin oxiderades av rötterna och denna effekt ökades vid tillsats av NaNO_3 och kalk. SCHREINER & REED 1908, 1909).

Sammanfattning. Som sammanfattning av ovan refererade och andra föreliggande experimentalundersökningar, som ha intresse för bedömandet av frågan, i vad mån markluftningen är en faktor av ekologisk betydelse, kan man säga,

1) att mycket stora skillnader finnas mellan toleransen hos olika växter för syrebrist och kolsyreöverskott i jorden;

2) att man ej känner något fall, då en syrebrist eller ett kolsyreöverskott under ett par procent utövat en skadlig inverkan, även vid långvariga försök,

3) att en fullständig eller mycket stark, även rätt kortvarig, strypning av rötternas gasutbyte med atmosfären hos ej särskilt tillpassade växter blir ödesdiger därigenom att vattenupptagandet genom rötterna är ytterligt försvårat;

4) att en måttligare strypning, som akut ej är farlig, vid längre inverkan kan medföra anhopning av giftämnen, som kan verka ödesdiger;

5) att det av allt detta är mycket sannolikt, att markluftningen i vissa fall kan vara en ekologisk faktor av avgörande betydelse.

KAP. 10. Markluftningsproblemets ställning i lant- och skogsbruk och i ekologien.

Lantbruksforskningen. Det torde varit SORAUER, som först allmänt fäst jordbruksforskarnas uppmärksamhet på markluftningen som en faktor av betydelse. I hans Handbuch der Pflanzenkrankheiten ägnas markluftningen alltifrån första upplagan stor uppmärksamhet, och i den sista, av GRÄBNER redigerade upplagan (1921) ägnas frågan ett helt kapitel på 136 sidor. Fara för skador genom dålig genomluftning föreligger enligt SORAUER-GRÄBNER

- 1) i lermarker,
- 2) i genom översvämning etc. med finmaterial tillslammad mark
- 3) i översvämmad mark med stillastående vatten
- 4) i försumpad och vattensjuk mark,
- 5) i råhumus- och ortstensmarker,
- 6) vid för tät och för djup plantering och sådd. Bland botemedel nämnas i första rummet dränering och därefter markbearbetning samt i vissa fall strötäckning av jorden för att hindra tillslamning i ytan vid häftiga regn etc. och slutligen kalkning, mörkling och gipstillförsel.

Vissa sjukdomar anses höra samman med dålig genomluftning, så t. ex. rotbrand hos betor, risets brusone-sjuka, »mal nero» hos äkta kastanj samt flere sjukdomar hos tropiska kulturväxter.

Man har vid jämförande försök funnit bättre resultat i lös jord och i jord med klumpstruktur än i fin och packad jord och ställt detta i samband med genomluftningen (HUNTER, CLEMENTS 1921 p. 23), och man har funnit gynnsam effekt av inblandning av lerskärvor, sand, träkol etc. i jorden och förklarat det på samma sätt (se t. ex. HOWARD 1918, HOWARD & HOWARD 1918). För COLEMANS (1916) liknande försök med jordsvampar, som han fann växa bättre i lättare jord än i lera, kan man kanske utan vidare acceptera skillnader i genomluftningen som orsak till skillnaderna. Det är eljes ej så säkert, att detta i alla dylika fall behöver vara rätta förklaringen. På samma sätt förklaras, som redan ovan nämnt i annat sammanhang, av CLEMENTS den gynnsamma effekten av markbearbetning i norrländska tallhedar som en markluftningseffekt, men vi skola nedan se, att ganska säkert så ej är förhållandet. Det kan nämnas att t. o. m. i Indien LEATHER (1915) ställer sig skeptisk till att markluckringens gynnsamma effekt skulle bero på en bättre markluftning.

Det dåliga tillståndet och den höga dödligheten hos träd i gatuplanteringar har av MANGIN (1896) satts i samband med experimentellt påvisat bristande lufttillträde till rötterna.

Särskilt i Indien har markluftningsproblemet de sista åren varit flitigt omtalat och bearbetat. Oberoende av BRIZI i Italien visade HARRISON & AIYER (1913), att risets rötter ha bestämda, om än små syrekrav, som i de översvämmade risfälten täckas genom syreproduktionen hos ett skikt av alger, som lever i markytan. Om man analyserar prov av de gaser, som finnas i marken i ett risfält, så finner man nere i marken kväve, metan, väte och kolsyra men praktiskt taget intet syre; under alghuden däremot uppstå gasblåsor, som »sällan hålla mindre än 50 % syre» (HARRISON & AIYER 1913 p. 95). Liknande resultat gävo ONODERAS (1920) undersökningar i Japan. Det är alghuden som är syrekällan och riset är för sin trevnad absolut beroende av den. Ofta upprepade avtappning av översvämningsvattnet verkar därför fördelaktigt endast till en viss gräns; tappar man av för ofta, så störes alghuden för mycket och resultatet blir sämre.

Sedermera har markluftningsproblemet i Indien tilldragit sig allt större intresse, och en hel del skador hos olika växter tillskrivas dålig markluftning, speciellt en vissnesjuka hos Javaindigo, *Indigofera arrecta*. Skadan är värst våta år och undvikes främst genom dränering (HOWARD & HOWARD 1915 a). Hos fruktträd har man vid Quetta experimentalstation funnit, att en där uppträdande bladfallsjuka på persikoträd kan experimentellt framkallas genom alltför djup plantering och för stark bevattning och tillskriver den därför dålig markluftning (HOWARD 1916). Man har vidare funnit, att avkastningen av olika grödor kan väsentligt höjas genom ett förnuftigt sparsamt bevattningssystem. För mycket bevattning skadar mer än det gagnar. Sålunda minskades i ett fall avkastningen med mellan 30 och 40 % om 3 bevattningar verkställdes i stället för 1. (HOWARD 1918 p. 425). Ökad uppmärksamhet har ägnats dräneringen, och med mycket goda resultat (HOWARD & HOWARD 1919).

Från den amerikanska agrikulturforskningen må nämnas COVILLES (CLEMENTS 1921 p. 21) och BERGMANS (1921) erfarenheter, intressanta därför att de gälla mossväxter. COVILLE anger, att god markluftning är nödvändig i mosskulturer av en kultiverad blåbärsart, »swamp blueberry», och BERGMAN redogör för skadlig inverkan av översvämning på ovanjordsdelarna av tranbär (cranberry). Översvämning är farligast mulna dagar, då assimilationen och därmed O_2 -produktionen är svagare.

Skogliga erfarenheter. Vi övergå då till skogsmännens erfarenheter. Från skogligt håll ha många gånger framkommit uttalanden om menlig inverkan av bristande markluftning, särskilt å råhumusmarker. Hos P. E. MÜLLER (1879 och 1884) är det sålunda flere gånger tal om hur den täta, packade, ej av daggmaskar bearbetade råhumusen hindrar lufttillförseln till underliggande lager. ROSTRUP (1891 och 1902) talar om

skadlig inverkan av *Thelephora laciniata* på gran till följd av att dess mycelium hopväver barravfallet till en kompakt skorpa, som »varken tillåter den nödiga luftväxlingen eller regnvattnets genomsilning». GREBE 1896 förklarar ljungråhumusens ofördelaktiga inverkan på skogen som en följd av dålig markluftning. HARTIG (1900) anser, att ett »tätt barrskikt» kan orsaka en ogynnsam nedsättning i markluftningen och vill härigenom förklara degenerationen hos skog på marker, som förut varit åker. HARTIG hänför även (p. 266) misslyckandet av bokföryngring å vissa marker till dålig genomluftning i den av tjocka råhumusmassor täckta marken.

GRÄBNER 1906 och 1909 har studerat degeneration av gran med åtföljande topptorka i bestånd med svår råhumus och skjuter skulden på den dåliga genomluftningen under denna. Han anser den inverka dels direkt, dels genom att träden få ett mycket ytligt rotsystem och därigenom lätt duka under vid inträffande torrperioder, varjämte de lättare duka under för angrepp av röta (*Polyporus annosus*). GRÄBNER söker bekräfta denna åsikt genom experiment: jämförande undersökning av permeabiliteten för luft under inflytande av övertryck hos råhumusprov i torrt och fuktigt tillstånd, samt, till jämförelse, av vanlig trädgårdsjord. Han fann, att medan för trädgårdsjord (jordcylinder av 4 cm diameter och 4 cm höjd) en liter luft passerade på 50 sek. vid ett övertryck av 500 mm vattenpelare, ett fuktigt och tätt packat prov av råhumusen av samma dimensioner var fullständigt ogenomsläppligt vid detta tryck och vid ett tryck motsvarande 2 700 mm vattenpelare släppte igenom en liter på 62 min. 50 sek. Emellertid äro dessa försök föga upplysande, emedan provet ej undersöktes i naturligt lagringstillstånd utan efter pulverisering och hopröring med vatten, och även emedan, som vi ovan sett, det ej är permeabiliteten för luft vid övertryck, utan diffusionshastigheten, som det främst kommer an på. ALBERT, som direkt bestämt jordluftens sammansättning under råhumus i avsikt att efterpröva GRÄBNERS resultat, har ej funnit annat än för jordluft helt normala syre- och kolsyrehalter (jfr tab. I).

GRÄBNER torde vara den, som mest och kraftigast hävdad åsikten om råhumusen som ett farligt hinder för markluftningen (jfr utom de redan citerade ställena GRÄBNER 1901 p. 75 ff. och WARMING-GRÄBNER 1918 p. III, 924, SORAUER-GRÄBNER 1921 p. 196—213), men liknande uttalanden återfinnas på talrika ställen i litteraturen. Jag nöjer mig med att ytterligare som exempel anföra WAGNER 1912 (p. 104, 105, 108), LÜDI 1919 (p. 32—33) och COVENTRY 1917 (cit. efter CLEMENTS 1921 p. 104).

I Sverige har HESSELMAN (1910 b) satt skogens dåliga tillväxt å vissa torv- och råhumusmarker i övre Norrland i samband med den nästan

fullständiga syrebrist i grundvattnet, som utförda analyser gävo vid handen. Han anser vidare (1917 a, p. 358) frånvaron av nitrifikation i odränerade torvmarker med stillastående vatten bero på syrebrist. Vid dränering inträder ofta en livlig nitrifikation, och där vattnet är i stark rörelse förekommer den. I en annan avhandling (1917 b) diskuterar HESSELMAN möjligheten av att den gynnsamma effekten av skogsför-yngringsåtgärderna på vanlig, oförsumpad råhumusmark delvis skulle bero på en ökad markluftning, men han finner sannolikt, att den ej är av någon avgörande betydelse. CLEMENTS (1921 p. 104) utläser, som ovan nämnt, ur HESSELMANS tallhedsundersökningar det resultatet, att åtgärder »som öka markluften» framkalla nitrifikation och trädväxt. I originalavhandlingen (1917 c) finns dock ej med ett ord antytt, att kausal-sammanhanget är detta.

Av skogliga erfarenheter och uttalanden, som ej speciellt gälla råhumus-marker må följande anföras. VONHAUSEN (CLEMENTS 1921 p. 99) fann; att inläggning av ett dränagerör av lera i en frösäng med *Platanus*-plantor ökade växten på dessa. HARTIG (1900) hänför rotröta hos gran och tall till dålig markluftning, orsakad av »stagnerande markvåta på plan mark», och hänvisar till en liknande rotröta hos vin som uppträder på våt, lerrik mark.

ROSTRUP (1902) talar även (p. 82) om luftbrist på grund av stillastående vatten. Sid. 78 framkastas den tanken, att orsaken till att frö av al, björk etc. gror väl ute, men dåligt inomhus, vore frånvaron av temperaturväxlingar, tillräckligt starka att åstadkomma ett tillräckligt gas-utbyte, så att den bildade kolsyran i alltför stor utsträckning kvarstannar.

LIVINGSTON (1905 a) finner en parallellism mellan fördelningen av skogarna i Michigan och jordens kornstorlek och dränering: »Från öppen äng passera vi, allteftersom dräneringen blir bättre och bättre, genom blandade kärr och barrträdiskärr till högländets löv- (hardwood-) eller weymouth-tallskogar». Förf. anser det avgörande vara den olika lufthalten i jorden.

GRAVES (1915, cit. efter CLEMENTS 1921 p. 103) fann, att unga barrträdsplantor blevo sjuka i frösängar på lera, att de ledo mest de våta månaderna och i många fall hämtade sig under de torrare. I luckrare mark i samma plantskola visade sig ej sjukdomen, och förf. anser den därför orsakad av syrebrist.

FALCK (1918) söker den primära orsaken till sjuklighet hos vissa ekbestånd å tidvis översvämmad mark med styv lera i bristande vatten- och lufttillförsel till rötterna, varvid han synes vilja tillskriva den ovanpå leran växande grässvålen lika stor betydelse som leran.

Från Indien föreligga iakttagelser, stödda av försök, som synas otvetydigt ge vid handen, att markens genomluftning för *Shorea robusta*,

ett av de viktigare indiska skogsträden, är en ekologisk faktor av avgörande betydelse. (HOLE & SINGH 1914—1916, HOLE 1918 och 1921). Särskilt intressanta äro de försök med *Shorea*-plantor, som HOLE meddelar, och som givit synnerligen markanta skillnader mellan bättre och sämre genomluftade kulturer. Redan täckning av jorden med ett lager döda *Shorea*-blad eller inblandning därav i översta markskiktet hade en tydlig skadlig inverkan (jfr dock p. [94] LUMIÈRES försök med infusion på döda blad). Enligt HOLES framställning är genomluftningen den faktor, som är bestämmande för föryngringen och för den geografiska fördelningen av *Shorea*-skogarna i de ifrågakvarande distrikten. De stora föryngrings-svårigheterna för *Shorea*-skogarna hänga samman därmed att dessa skogar till stor del växa på lera och att *Shorea* är ett mycket fuktälskande träd. Såväl fröna som de unga plantorna äro ytterst ömtåliga för torka. Samtidigt synes emellertid som sagt rotsystemet vara rätt ömtåligt mot för mycket kolsyra eller för litet syre eller bådadera. Känsligheten torde visserligen ej vara så särskilt stor, då plantorna växa utmärkt i vattenkulturer utan luftning (HOLE 1921 p. 60), men just emedan växten måste ha så rikligt med vatten, ligger risken för rotsystemets utsättande för avsevärda CO₂-överskott och betydlig O₂-brist i det tropiska klimatet nära, ej minst på lerjord.

Liksom *Shorea* kräver vanlig al ett visst lågt syrgasminimum i vattnet för att trivas (BORNEBUSCH 1914).

Markluftningsfrågans ställning i den rena ekologien. Av icke skogliga erfarenheter och åsikter hos den rena ekologiens män må följande anföras. Egenheterna i naturliga mossmarkers vegetation hänföras numera allmänt direkt eller indirekt till den dåliga genomluftningen i det stagnerande, humusrika vattnet. I FRÜHS & SCHRÖTERS (1904) stora monografi över Schweiz' mossar tas sålunda syrebristen till utgångspunkt för hela framställningen i kapitlet om torvbildningsprocessen. De amerikanska forskarna ha särskilt intresserat sig för den SCHIMPERSKA fysiologiska torrheten i mossar och ta därvid likaledes syrebristen och mossvattnets därmed sammanhängande giftighet till utgångspunkt. Här må till slut anmärkas, att beträffande torrlagda mossmarker VAGELER (1906) kommer till det resultatet, att »en hög kolsyrehalt hos markluften är identisk med livlig omsättning i marken och sålunda med förmågan att bära en anspråksfull flora». Genomluftningen var alltså i dessa torrlagda mossmarker genomgående tillräcklig.

HOLE (1911) anser markluftningen som en ekologisk faktor av betydelse för diverse indiska skogsgräs, delvis bestämmande deras förekomst och utbredning.

CANNONS m. fl. experimentella undersökningar äro refererade ovan.

Två av försöksväxterna från Arizonas öknar, *Opuntia versicolor* och *Prosopis velutina*, utbreda sina rötter i olika skikt, *Opuntia* nära ytan och *Prosopis* på djupet. CANNON (1915 b, 1916) anser, att detta är betingat av två saker, dels rötternas olika reaktion på värme, dels deras olika syrekrav. Syrebrist är tänkbar då, som ibland är fallet, den fina ökensanden är vattendränkt. Att opuntiarötterna ha förmåga att gå på djupet under lämpliga betingelser visar CANNON (1918 b) genom att odla växten i lodräta 2,5 m långa lerrör. De växte där ända ned i botten.

CANNON & FREE (1917) tänka sig zoneringen av vegetationen i vissa torrsjöbäcken som betingad av mer eller mindre fullständig brist på markluftning och specifika skillnader hos växterna i motståndskraft däremot.

Sammanfattning. Som läsaren redan torde ha lagt märke till, gälla de fall, där verkligen vägande skäl förebragts för dålig markluftning och skada därigenom, nästan genomgående marker med för stor markfuktighet. Dessutom föreligga liknande erfarenheter i en del fall från lermarker. Sanningen i detta påstående kunde demonstreras ytterligare genom ett uttömmande kritiskt litteraturreferat, men det anförda må vara tillräckligt. Vid genomgång av all den hos CLEMENTS 1921 refererade litteraturen skall man finna, att alla säkra erfarenheter peka i den antydda riktningen. Vi erinra oss resultatet av den ovan lämnade utredningen angående gasutbytets mekanik och kunna konstatera, att resultaten stämma mycket väl överens. Ett viktigt undantag synas, efter en mångfald av litteraturuppgifter att döma, råhumusmarkerna utgöra. Det anses ju, som framgår av litteraturreferatet ovan, att en mäktig råhumus i och för sig utgör ett svårt hinder för markluftningen. Här synes alltså vår utredning angående gasutbytets mekanik och den praktiska erfarenheten strida mot varandra. En av våra uppgifter i följande avdelning blir att för svenska skogsmarkers vidkommande upplära denna brist på överensstämmelse.

AVD. IV.

MARKLUFTEN I SVENSKA SKOGAR.

O m genomluftningen i svenska skogsmarker är förut föga känt. Den enda föreliggande experimentalundersökning, som direkt berör frågan, är såvitt jag vet HESSELMANS (1910 b) studie över grundvattnets syrehalt. Dylika vattenundersökningar ha sedan utförts i myrmarker av MALMSTRÖM (1922). Hurudan luftningen är ovan grundvattensnivån, därom lämna dessa undersökningar intet besked. Denna fråga tarvade så mycket mer en undersökning som det i stort sett är området ovan grundvattensnivån, som är biologiskt betydelsefullast.

Markluftsproblemets har som vi sett i det föregående under den sista tiden blivit mycket aktuellt särskilt i Indien och Amerika. Vidare är det en bland europeiska skogsmän utbredd, som ovan nämnt särskilt kraftigt av GRÄBNER framhållen uppfattning, att en råhumuspåls är ett svårt hinder för markluftningen. Bägge dessa omständigheter bidrogo till att frågan togs upp på Skogsförsöksanstaltens program. Undersökningen anförtroddes åt författaren, som ägnat densamma en stor del av två sommars fältarbete. Mina studier ha givit så pass överensstämmande och entydiga resultat, att de nu anses mogna för publicering, särskilt som resultaten stämma mycket bra överens med min teoretiska utredning i avd. II. Tillsammans ge de utförda analyserna och denna utredning, anser jag, en rätt god helhetsbild av förhållandena.

Den bakgrund, mot vilken analysiffrorna böra ses, är given av det föregående. Det är just för att läsaren vid studiet av siffrorna må ha denna bakgrund klar som jag ansett lämpligt att kasta om den i redogörelser för experimentalundersökningar brukliga ordningen och i stället ta det mesta av diskussionen först. Diskussionen av siffrorna i det följande blir så mycket mera kortfattad. Jag förutsätter därvid ständigt att de föregående avdelningarna äro för läsaren bekanta, och vill här uttryckligen påpeka, att den tidigare framställningen ej är en historik, utan att de förda diskussionerna äro ämnade att klargöra markluftsproblemets allmänna läge. De ha på nästan alla punkter direkt betydelse även för det specialfall, som markluftningen i svenska skogar utgör, även om mina analysiffror ej äro inblandade i diskussionen, utan först i det följande meddelas i ett sammanhang.

KAP. II. Undersökningens planläggning och förlopp.

Undersökningens föremål. Mina fältundersökningar bilda en naturlig fortsättning till HESSELMANS nyss anförda studier över grundvattnets syrehalt och avsågo närmast att klara upp motsägelsen mellan GRÄBNER

och ALBERTS i avd. III refererade undersökningar i råhumusmarker i Tyskland, eller åtminstone avgöra vilken åskådning som stämmer bäst med verkligheten för svenska förhållanden. Något liknande den gran-råhumus, som GRÄBNERS undersökningar avsågo, torde vi ej ha i Sverige, däremot ha vi i Norrland s. k. råhumusbesvärade marker i granskog av mossrik typ. Undersökningarna inriktades först och främst på dessa. Sommaren 1920 förlades arbetet nästan uteslutande till Kulbäckslidens kronopark i Degerfors socken och revir, Västerbotten, och omgivande marker. Förliden sommar utsträcktes de till Norrbotten och till sydliga Sverige, varvid förutom råhumusgranskog även tallhedar, utpräglade ortstensmarker, råhumusbokskogar, ljunghedar och för jämförelses skull en del andra marker undersöktes. De mest ingående undersökningarna i södra Sverige gjordes å Vallåsens krp. i Våxtorps socken, Halmstads revir, där såväl ljunghedsmarker av mycket olika kvalitet som synnerligen utpräglad torviga bokskogar stodo till buds.

Principiella svårigheter. Beträffande de ekologiska faktorernas verkningssätt gäller det ofta, att det ej är medelvärdena av de ifrågavarande faktorernas intensiteter, som äro avgörande, utan fastmer deras extremvärden och ofta ej ens dessa direkt, utan i förening med en tidsfaktor. För utbredningen av ett frostömt trädslag mot norr är t. ex. ej årets medeltemperatur avgörande, utan t. ex. den extrema vinterkylan eller temperaturen under vissa känsliga perioder. Och det är knappast medeltalet av alla vintrars temperatur, som avgör om ett frostkänsligt träd överlever eller ej, utan de särskilt stränga vintrarnas. Likadant är det utan tvivel i många fall med faktorerna syrehalt och kolsyrehalt i marken. En växt, vars rötter ha stora syrekrav, och som råkar växa inom ett periodvis översvämmat område, kan t. ex. kanske många år överleva översvämningarna, om nämligen dessa aldrig äro så långvariga, att växten hinner ta obotlig skada. Men ett enda år med en något för långvarig översvämning kan förföra den från området.

En fullgod behandling av det föreliggande problemet möter därför mycket stora svårigheter. Svårigheterna inses kanske bäst genom en jämförelse med ett par andra forskningsobjekt. Om jag t. ex. vill studera växtsamhällenas inverkan på markprofilen, är det likgiltigt, när jag tar mina prov. Den effekt, som jag vill studera, ligger där registrerad i profilen, som är sig i huvudsak lik sommar som vinter, under regn som under torka; markprofilen är så att säga integralen av månghundraåra processer, och den växlar ej mätbart från dag till dag, väl ej ens från år till år. Om jag vill studera sambandet mellan skogens växt och salpeterbildningen i marken, så har jag visserligen med en process att göra, som kan förlöpa med högst olika intensitet under olika årstider. Men

jag vet, att jag sysslar med en faktor, som åtminstone i regel i alla intensiteter, i vilka den förekommer i skogsmarken, verkar positivt gynnsamt, blott i högre eller lägre grad. Jag har vidare ingen anledning antaga, att ens en fullständig frånvaro av salpeterbildning under vintern, när träden sova, är på något sätt ödesdiger. Jag kan till och med förutsätta, att det i varje fall kräves mycket långa perioder av fullständig salpeterbrist för att träden skola dö av kvävehunger, ja, sannolikt kunna de leva hur länge som helst på kväve i annan form. Allt detta gör, att jämförande stickprov från olika skogstyper, blott de äro tagna under jämförbara förhållanden, ge en fullt tillfredsställande upplysning. Jag behöver ej bekymra mig om kortvariga extrempperioder, de genomsnittliga förhållandena under vegetationsperioden ge mig i det väsentliga den kunskap jag behöver.

Helt annorlunda ligger saken vid ekologiska problem sådana som markluftningen. Man borde därför rätteligen ha långa fortlöpande serier av analyser året runt och helst under många år från valda punkter i de skogstyper, man vill studera. Om jag endast tar jämförande stickprov från olika typer, så har jag ingen garanti för att förhållandena under andra årstider eller annan väderlek ändra sig parallellt för de båda typerna. Och denna olikhet i variationen kan vara ekologiskt betydelsefull. I den ena marken kan möjligen uppstå en farlig period av syrebrist, som ej uppträder i den andra.

Emellertid var det ej att tänka på att skaffa ihop dylika jätteserier av analyser i FODORS stil från de skogstyper, det framför allt är fråga om. Undersökningen måste i stället till en början läggas mer orienterande, och av denna orienterande undersökning ha sådana resultat framgått, att det måste anses olämpligt att uppta tiden med hopbringandet av dylika långserier, som visserligen principiellt krävas för problemets fullständiga belysning. Här liksom på så många andra områden gäller, att det bästa är det godas fiende; detta har i förbigående sagt i eminent grad sin giltighet för majoriteten av ekologiska problem. Det är tills vidare ekologiens lott att treva sig fram och nöja sig med halv visshet eller ännu mindre.

Efter denna lilla utvikning må påpekas, att å andra sidan det ej är omöjligt, att genomsnittsvärdena av syre- och kolsyrehalt i marken kunna tjäna som ett gott mått på sannolikheten av en sekundär skadlig inverkan av dålig markluftning genom bildning av giftämnen (jfr ovan avd. III). Hur som helst, metoden med stickprov under vegetationsperioden är den, som jag vid mina undersökningar använt. Därvid har jag emellertid gjort så, att de mest intressanta punkterna besökts flera gånger, om möjligt under olika tider av sommaren. Den period, som undersökningarna omfatta, är början av juni till september.

KAP. 12. Apparatur och metodik.

Vid förut utförda markluftsundersökningar ha de mest olika metoder kommit till användning såväl i fråga om sättet att hämta luftproven som för deras analys. Vid de äldsta undersökningarna användes för provtagningen på förhand i jorden nedgrävda rör, genom vilka stora luftmängder aspirerades genom barytvatten för bestämning av kolsyrehalten. Syrgashalten bestämdes eventuellt i ett särskilt prov genom absorption med pyrogallol (BOUSSINGAULT & LÉWY; FODOR) eller explosion med vätgas (FLECK) i ett eudiometerrör. Senare forskare ha i allmänhet (så SCHLÖSING, MANGIN, LAU, RUSSELL & APPLEYARD) använt något slag av jordsonder med luftkanal för provtagningen för att kunna utan alltför stor tidsutdräkt ta prov på många olika punkter och framför allt för att slippa uppgrävningen av jorden, som ju alldeles stör de naturliga förhållandena. Vidare har man strävat efter att minska den för bestämning nödvändiga provvolymen. Av de använda apparaturerna synas SCHLÖSINGS och LAUS vara de bästa och elegantaste. Den förra var emellertid endast avsedd för kolsyrebestämning och den senare är alltför tung och klumpig för ekologiska fältstudier.

En användbar apparatur måste uppfylla följande villkor: 1. att vara lätt transportabel, 2. att medge bestämning av såväl syre som kolsyra, 3. att ge garantier för att det tagna luftprovet verkligen är jordluft, härstammande från det avsedda djupet.

Vidare visade det sig under undersökningens gång nödvändigt, att apparaten medgav analys av mycket små luftprov. Även om marken ej är mättad med vatten, kommer nämligen vid provtagningen stora mängder vatten med, och i de marker, där analysiffrorna voro av särskilt intresse, var det endast helt små luftmängder som kunde uppsamlas. Denna synpunkt invercade ej på valet av analysapparat, men framför allt för den sakens skull visade sig valet lyckligt. Däremot var det från början klart, att det i vilket fall som helst är fördelaktigt att kunna reda sig med små luftprov. Därigenom minskas nämligen utsikterna att få med luft, som ej härstammar från det avsedda djupet.

Analysapparat, fellatitud. Den analysapparat som användes var KROGHS mikroanalysapparat (KROGH 1908, 1915, 1920), vilken förut med gott resultat använts för fältbruk av EGE (1915), GAARDER & HAGEM (1921) och även av KROGH själv.

Apparaten (fig. 9 A, till höger) består väsentligen helt enkelt av ett kapillärt glaströr med millimeterdelning och i nedre ändan uppblåst till en samlingsträtt av större (c:a 5 mm) diameter. Apparatens konstruktion grundar sig på ett lika enkelt som sinnrikt användande av ytspän-

ningsförhållandena, som möjliggör utförandet av kolsyre- och syreabsorptionen i samma rör i vilket avläsningarna ske utan att mätkapillären nedsmutsas av reagenserna. En ingående beskrivning är här så mycket mindre på sin plats som en uttömmande redogörelse för både konstruktionen och handhavandet av apparaten finnes i de citerade uppsatserna av KROGH.

KROGHs apparat har för det avsedda ändamålet tre givna fördelar. För det första medger den analys av mycket små gasmängder (några mm³). För det andra är den liten och lätttransportabel, och de tillbehör som krävas för uppsugning och förvaring av gasproven bli också små därför att så små gasmängder behövas för analysen. Vidare är apparaten ej komplicerad och kommer ej så lätt som en vanlig gasanalysapparat i olag. Analyserna gå relativt fort. Med hänsyn därtill, att man städse bör göra dubbelbestämningar, är apparaten visserligen knappast tidsbesparande i jämförelse med en mindre HALDANE-LILJESTRAND-apparat. KROGH uppger, att en enkelanalys tar 5 minuter. Själv har jag ej kommit ned längre än till ungefär dubbla denna tid, detta vid arbete i sträck inomhus. Däri är dock inräknat den tid som kräves för införandet av provet, ombyte av recipient (se nedan) o. s. v. Vid utförandet av analyserna ute på marken måste till den tid, som själva analysen tar, läggas en oberäknelig tid för diverse andra manipulationer.

Fördelarna med KROGHs apparat måste å andra sidan köpas med en del olägenheter. Noggrannheten av analyserna är ej stor. Storleken av de tillfälliga felen uppges av KROGH (1920 p. 185) under förutsättning av noggrant arbete och absolut ren kapillär till $\pm 0,1\%$ för syre, $\pm 0,2\%$ för kolsyra, allt i $\%$ av totalvolymen. En serie bestämningar av atmosfärisk luft (inomhus) gav mig liknande siffror:

Tab. XI. Analyser av atmosfärisk luft.

Tab. XI. Analysen von atmosphärischer Luft.

Experimentalfältet 2. X och 4. X 1920.

N:o.....	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CO ₂ , %	0,09	0,09	0,09	0,03	—0,03	—0,08	—0,02	0,00	0,00	0,00
O ₂ , %	20,98	20,82	20,89	20,95	20,89	20,89	20,89	21,09	20,98	20,97

Härur följande standardavvikelser samt medeltal med medelfel, allt i volymprocent av totalvolymen:

Daraus folgende Standardabweichungen und Mittel mit mittlerem Fehler; alles in Volumenprozenten des Totalvolumens:

$$\left. \begin{array}{l} \text{För} \\ \text{För} \end{array} \right\} \text{CO}_2 : \sigma = 0,05; M = 0,02 \pm 0,02.$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{För} \\ \text{För} \end{array} \right\} \text{O}_2 : \sigma = 0,08; M = 20,94 \pm 0,03.$$

Förutom de tillfälliga felen måste man emellertid räkna med ett systematiskt fel för kolsyran, vilket kan uppnå betydligt större belopp. Det uppgår i genomsnitt till 20 % av den förefintliga kolsyremängden (KROGH 1920 p. 185). Med en kolsyrehalt av 5 % skulle man alltså ha att räkna med ett systematiskt fel av 1 % av totalvolymen. Detta är ett allvarligt fel. SCHMIT-JENSEN (1920) har konstruerat en modifikation av KROGHS apparat, som endast har ett systematiskt fel av 1 % i kolsyran. Det stora systematiska felet med KROGHS originalapparat beror på att provet analyseras över — visserligen surgjort — vatten. SCHMIT-JENSEN ersatte vattnet med en blandning av glycerin och saltlösning och nedbragte så felet högst avsevärt. På grund av den använda vätskans stora viskositet måste emellertid då även apparaten ändras, kapillären tas vidare och blåsan skruvas upp i röret med ett urverk. Detta senare komplicerar apparaturen avsevärt och gör den mindre angenäm för fältbruk. Att införa provet i kapillären genom kvicksilver i stället för surgjort vatten minskar felet, men ställer sig ytterst besvärligt. Glycerinfyllning av nedre delen av apparaten gav mig inga goda resultat. För att i möjligaste mån utan komplicerande anordningar nedbringa felet i kolsyran använde jag alltid, så snart luftkvantiteten räckte till, så stora luftblåsor som möjligt. Redan detta minskar felet till ungefär hälften, alltså omkring 10 % av kolsyran. Jag hade vidare från början tänkt att korrigera för det systematiska felet med hjälp av en korrektionstabell, uppgjord med stöd av en serie analyser av luftblandningar med känd kolsyrehalt av olika storlek, och under användning av en blåsstorlek motsvarande den jag i regel använt. Emellertid har jag avstått därifrån av följande skäl. Som framgår av tabell XIII (p. [184] ff.) håller sig kolsyrehalten hos de allra flesta analyserade luftprov under 1 %. Även om man här räknar med ett så högt fel som 20 % av kolsyran, blir felet alltså endast 0,2 % av totalvolymen, d. v. s. ej mer än det tillfälliga felet. Avsevärt högre kolsyrehalter träffas endast i prov, där vatten, i de flesta fall rikligt, kom med provet (se anmärkningarna i tab. XIII). I de fall, där det sista var händelsen, spolades emellertid före införandet av luftblåsan Krogh-apparatens samlingstratt full med detta vatten, alltså en vätska, som stod i jämvikt med gasprovet. Under dessa omständigheter försvinner det systematiska felet så gott som fullständigt (se KROGH 1920 p. 185—186). Att korrigera dessa analyser på antytt sätt skulle alltså vara rentav felaktigt.

En olägenhet hos KROGHS apparat är den, att det är så ytterst nödvändigt att kapillären är fullt ren. Är så ej fallet, bli de tillfälliga felen i analyserna mycket stora och fullständigt oberäknliga. Denna omständighet vållade ibland under fältarbetet mycken förargelse och stor

tidsförlust. De 100 första proven analyserades ute på den fläck där de togos, med hela apparaturen stående på marken. Under sådana omständigheter händer det lätt, att man darrar något på handen i ett olämpligt ögonblick, så att kalilut eller pyrogallol kommer in i kapillären. Analysen är då förlorad, men ej nog därmed, kapillären är även oduglig för vidare användning innan den grundligt rengjorts. Kromsvavelsyra måste därför alltid finnas till hands och rengöringen av kapillären utan tillgång till laboratorium med vattensug är ändå rätt besvärlig. Som sug användes den lilla kvicksilvergasmeter, som tjänade till uppsugning av luftproven och som alltså dess bättre alltid fanns till hands. Förutom av reagensen kan kapillären smutsas ned av små humus- och andra partiklar som komma med vattnet ur jorden. Ej heller denna vätska tillåtes visserligen komma längre in i kapillären än omkring 1 mm, men det tycks som små partiklar kapillärt kunde sugas in i röret och sedan nästa gång skjutas uppåt med luftblåsan.

Mikroanalysapparaten är alltså rätt kinkig vid användningen, och det värsta är att man så lätt kan göra ett fel som man på grund av kapillärens ringa diameter (0,25 mm) ej upptäcker. Man måste därför alltid göra dubbelanalyser för att kunna vara säker på värdena. Så har jag även nästan undantagslöst arbetat. Där så på grund av den ringa volymen av provet eller i något enstaka fall på grund av brådska ej varit fallet, framgår detta av tabellen. I kolumnen »antagna värden» är resultatet i sådant fall ej angivet med decimaler.

Detta om analysapparaten och arbetet därmed. Förutom av analysapparaten bestod apparaturen av jordsonder av något olika utförande, suganordningar för uppsugning av proven ur jorden och kärl för deras förvaring till analysen.

Provens uppsugning och förvaring. I början analyserades som nämnt proven på platsen omedelbart efter provtagningen, och inga särskilda anordningar behövdes för provens förvaring. Hela apparaturen så när som på jordsonderna var inbyggd i ett portativt litet skåp, som visas i hopfällt och uppfällt skick å fig. 7 och 8. Skåpet, som hopfällt har dimensionerna $10 \times 24 \times 40$ cm, inrymmer (se fig. 9 A): 1. en liten kvicksilvergasmeter, bestående av en tvåvägskran med ansmält behållare om c:a 6 cm^3 rymd samt ett med denna med en gummislang förbundet ungefär lika stort nivåkärl med kvicksilver; 2. en liten vanna, som utgöres av en s. k. embryoskål av glas och vilken är fäst på änden av en liten styrstång så att den lätt kan röras upp och ned; i vanliga fall hålles den i sitt högsta läge av en spiralfjäder, men kan med en enkel anordning fästas i det nedersta läget; 3. analysapparaten, som är yridbar kring en vågrät axel och med en skruv kan fixeras i varje önskat

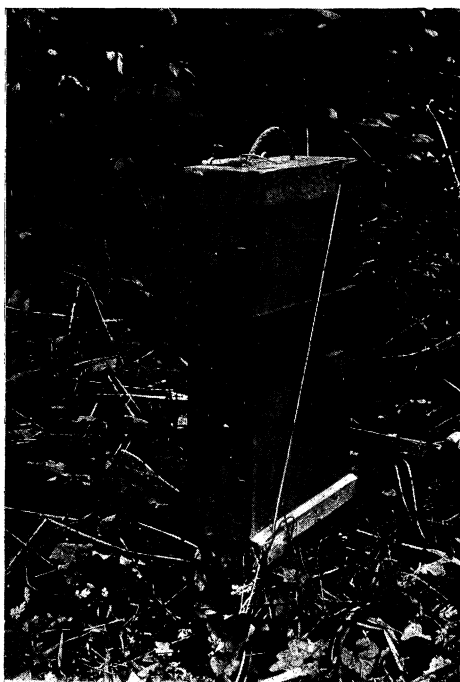


Fig. 7. Apparatskåpet hopfällt.
Apparatenschrank, zusammengeklappt.

vinkelläge; 4. reagensflaskor och annat tillbehör. Gasometern tjänar till uppsugning av luftproven ur jorden, vannan tjänstgör som vattenlås vid överföringen av den del av provet, som skall analyseras, till analysapparaten.

Sedermera befanns det opraktiskt att analysera proven i skogen, och jag övergick till en anordning som den av SCHMIT-JENSEN (1920) beskrivna. Proven uppsamlades alltså och förvarades till analysen, instängda över kvicksilver i små recipienter av 2 cm³ volym, bestående av vinkelböjda glaströr (jfr fig. 10). På så sätt kunde först provtagningen i skogen och sedan analyserna utföras i sträck, vilket medförde stor tidsbesparing. Vidare kunde analyserna utföras i lugn och ro inomhus, vilket även var en stor fördel.

Samtidigt slopades den förut beskrivna gasometern, och i stället användes en anordning som visas å fig. 10. Den har den fördelen, att den i stället för glaskran har två kvicksilverventiler och därför ej är så känslig för förorening med sandpartiklar o. dyl. som alltid komma med vattnet ur jorden, såsnart det ej kommer enbart luft vid sugningen.

Förvaring av gasproven före analysen medför naturligtvis den risken, att deras sammansättning förändras. Tätningen och kvicksilverytans inflytande har undersökts av SCHMIT-JENSEN för den ifrågavarande modellen av recipienter, med tillfredsställande resultat. Vid mina bestämningar tillkom ibland en annan sak, nämligen att proven ej enbart bestodo av luft utan av luft i blandning med vatten; i extrema fall var röret mest fyllt av vatten endast med en liten luftblåsa. Detta vatten var visserligen sådant, som nere i jorden stått i jämvikt med luftprovet. Emellertid kunde ju detta vatten innehålla bakterier, humusämnen etc. och man kan därför tänka sig en syreförbrukning och kolsyreutveckling i vattnet, som ändrar sammansättningen på luftprovet under förvaringen. För att mota denna felkälla iakttoogs endast det, att analysera våta



Fig. 8. Apparatskåpet i bruk.
Apparatschrank, gebrauchsfertig.

prov så snart som möjligt; för varje prov är i tab. XIII angivet det antal dagar, som förflöt mellan provtagning och analys.

För tillslutningen av recipienterna använde jag ej som SCHMIT-JENSEN klämmare, utan helt enkelt små proppar av rundsmält glasstav, som stuckos in i kapillärslangarna så som visat i fig. 10. Vid isättningen av glasstavarna tillsågs att slangbiten var fylld ända ut med kvicksilver; för säkerhets skull spilldes alltid något kvicksilver. Före isättningen av den sista av de två propparna åstadkoms ett övertryck i recipienten. När analysen skulle ske, ersattes proppen vid den korta skänkeln med ett kapillärt munstycke liknande det som hänger ned i vannan fig. 9 A, och i stället för proppen vid den långa skänkeln insattes munstycket till nivåkärlet fig. 10. Då alla dimensioner voro kapillära, undanträng-

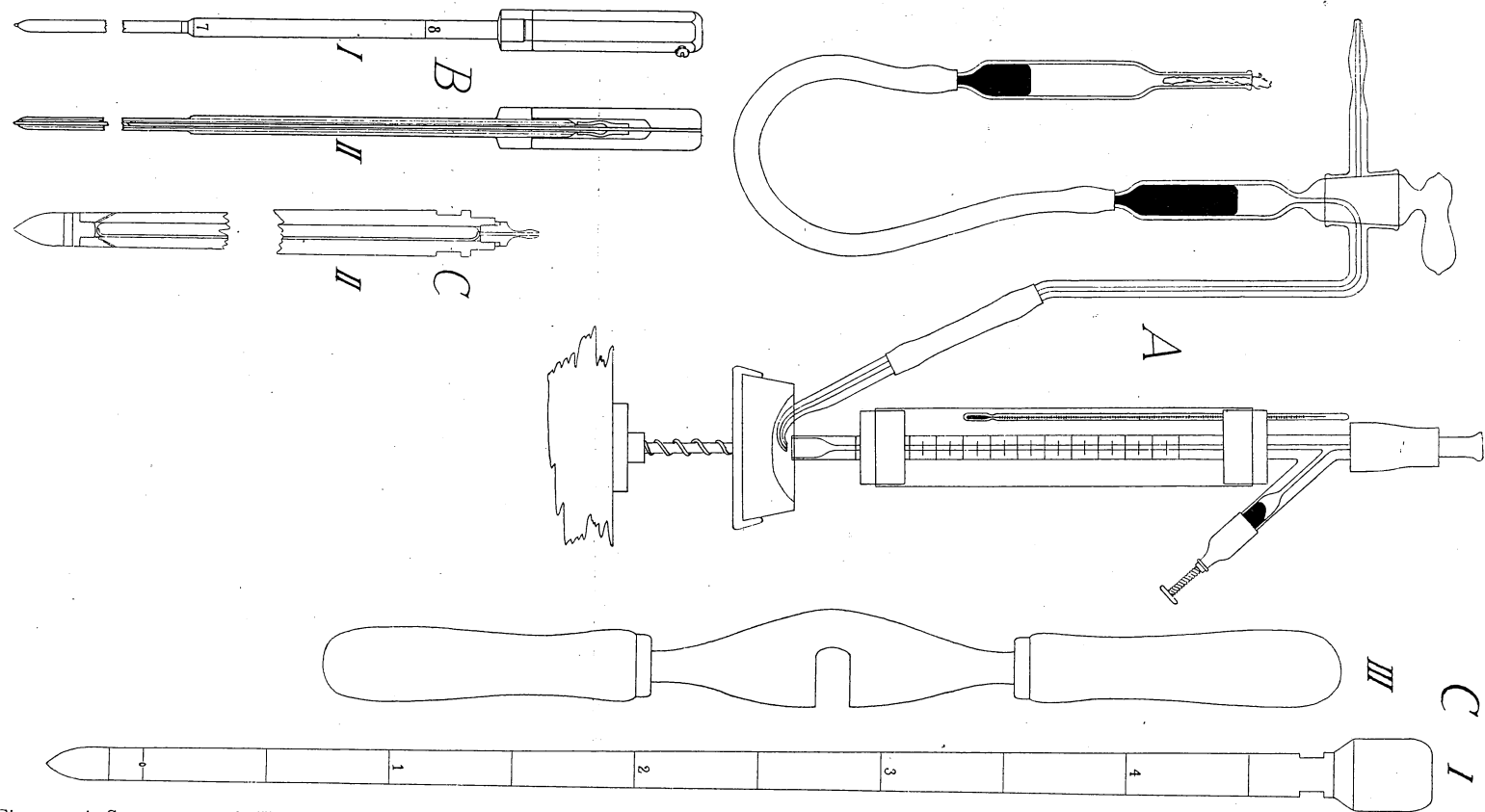


Fig. 9. A Sugapparat och KROGHS analysapparat. B, C jordsonder. A Saugapparat und Analysapparat (KROGHS Mikrogasanalysapparat). B, C Erdsonden

des all främmande gas i kanalerna lätt och säkert av kvicksilvret. Hela anordningen visade sig bra och behaglig att arbeta med.

Jordsonder. Luftproven upphämtades alltid ur jorden genom jordsonder med fin kanal. Tre olika modeller användes, av vilka två visas å fig. 9 B och C. Den tredje bestod helt enkelt av en bit mässingsrör av 2 mm inre diameter med en däri passande stålnål. Den visas i an-

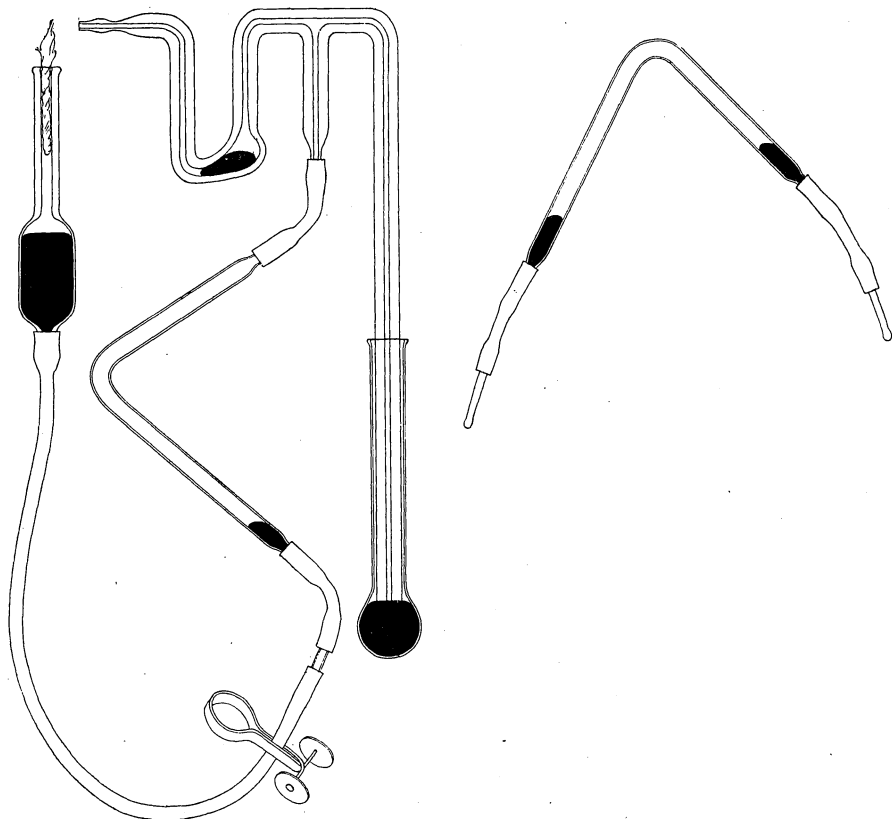


Fig. 10. Sugapparat, senare modell, med recipienter enligt SCHMIT-JENSEN.

Saugapparat, späteres Modell, mit Rezipienten nach SCHMIT-JENSEN.

vändning fig. 8 och synes fastsittande å analyskåpet fig. 7. (I fig. 8 synes stålnålen nedstucken i jorden till vänster om sonden). När det gällde att komma ned i svårare mark, t. ex. hård morän, användes den starka stålsonden, fig. 9 C. Den är gjord av ett gevärspipämne, avsvartat utvändigt så att det småningom avsmalnar från 18 till 13 mm, och vari i nedre änden är ingängad en massiv stålspets med form som en spetskula. Strax ovan stålspetsen äro på samma höjd 4 stycken 0,75

mm hål borrade i sned riktning tvärs igenom godset i pipan. Loppet är så när som på en kanal av c:a 1 mm² tvärsnitt utfyllt av ett stycke mässingsbult. I övre änden är ingångat ett slangmunstycke av mässing, som tätar mot pipkanten medels en gastät packning av vulkanfiber, in-dränkt med vaselin. Till apparaten hör ytterligare en hatt av stål att slå på och en kraftig nyckel för att dra upp sonden ur jorden. Sommaren 1921 användes uteslutande den sond som visas fig. 9 B. Denna är av mässing, längre och smidigare, och med central 1,5 mm stålnål som drages ut efter neddrivningen. Denna sond visade sig trots sin vekhet ha en förvånande förmåga att tränga ned även i morän. Dess böjlig-het gör, att den slinter åt sidan på stenar, som den ej träffar alldeles vinkelrätt, och sedan fortsätter nedåt. Den drevs i likhet med den andra mässingssonden ned genom kraftig tryckning under någon vridning. Men sedan den kommit ned tillräckligt långt, så att den stöddes från sidorna av moränen, kunde den om behövt liksom stålsonden bultas ned yt-terligare med en träklubba. En vid denna sond vidtagen förbättring, som dock ej torde vara av stor betydelse, är att stålnålen löper i och tätar mot en liten bit gummislang (vaselin eller glycerin!), så att det ej ett ögonblick är öppen förbindelse mellan den yttre luften genom kana-len i sonden och ned i jorden. Vid de andra sonderna är kanalen ett ögonblick efter neddrivningen öppen och tillslutes först genom påsätt-ningen av gummislangen, som går till sugapparaten. Emellertid har jag aldrig kunnat konstatera några tryckskillnader (jag har provat saken genom att applicera en liten hinna av saliv som man brukar göra för att pröva cykelventiler). Den möjliga felkälla, som möjligheten av ned-trängande av yttre luft vid undertryck i jorden ju likväl utgör är i varje fall utesluten vid alla 1921 utförda analyser, d. v. alla prov med högre ordningsnummer än 59.

Aspirerade mängder. Vid provtagningen sköljdes städse apparaterna med omkring 5 gånger den sammanlagda luftvolymen i sonden, gummis-langen och sugapparatens kanaler. Sammanlagda aspirerade volymen uppgick därför trots det så små luftmängder behövas för analys till om-kring 8 cm³. Detta är likväl en mycket liten volym jämfört med den som vid åtskilliga andra liknande undersökningar använts, vilket som redan ovan antytt är en styrka i metodiken. Volymen av den aspire-rade luften inverkar nämligen på den säkerhet, med vilken man kan antaga, att luftprovet verkligen är markluft från det avsedda djupet. Vi komma därmed över till en diskussion av denna mycket viktiga sak.

Tätningförsök. Betydligt grövre fel än analysfelen kunna tänkas uppkomma därigenom att det tagna luftprovet ej är ren och oblandad

jordluft från det avsedda djupet. ALBERT finner det svårt att konstruera provtagningsborret så att man kan vara säker att ej atmosfärisk luft vid sugningen tränger ner mellan borret och jorden, kommer med i provet och förrycker resultatet. LAU använde för att vara säker en tätningssanordning, bestående av en glasplatta, genomborrad av ett hål med en gummipropp, vilken tätade mot jordsonden. Jag arbetade i början liksom LAU med tätning kring sonden, vilken åstadkoms helt enkelt så att jag drev ner denna genom en tunn lergröt av lämplig konsistens. Senare fann jag att denna tätning var fullständigt onödig.

På professor HESSELMANS förslag undersökte jag nämligen tätningen under olika förhållanden på följande sätt. En rymlig tom konservburk av plåt utan lock trycktes under vridning mot marken med öppningen nedåt så att kanten skar ned något och tätade mot jorden. Därefter nedstacks jordsonden genom ett motsvarande hål i burkens botten och neddrevs i jorden till ett visst djup. Inuti burken utvecklades därpå svavelväte medels svaveljärn och syra. Sedan gasutvecklingen pågått en stund aspirerades genom borret på vanligt sätt markluft, vilken prövades på svavelväte därigenom att den fick stryka i långsam ström genom ett rör med i blyättika dränkt filtrerpapper. Resultatet meddelas i tab. XII (se nästa sida).

Det enda fall då svärtning inträdde var vid sugning i själva mosslaget i en svällande *Sphagnum-Russowii*-tuva, som var så lös, att stålsonden knappt kunde fås att stå upprätt utan stöd. Dock inträdde ej heller här den ringaste svärtning vid sugning av 60 cc med gasometern, utan först då jag, förvånad över detta resultat, fortsatte sugningen med munnen. Sedan jag på detta sätt sugit ett par fulla andetag (alltså några liter) började gasen lukta H_2S , röret med blyättikpapper kopplades ånyo till och visade nu ögonblicklig svärtning.

Detta resultat visar på ett slående sätt nyttan av att ta små luftprov för att vara säker att få oblandad jordluft från det avsedda djupet, men det framgår även med full tydlighet att ingen fara för läckning uppifrån med den av mig använda enkla apparaturen föreligger, om detta försiktighetsmått iakttages, detta även utan särskilda tätningssanordningar. Detta resultat överensstämmer med SCHLÖSINGS, MANGINS och RUSSELLS & APPEYARDS erfarenheter; dessa ha även använt relativt små provolymer.

Definition av djupet. Emellertid kan man ej utan vidare av de anförda försöken sluta, att man tryggt kan gå upp till så stora provolymer som 60 cc. Man måste nämligen ej blott undvika inblandning av atmosfärisk luft uppifrån, utan även se till att man ej får med jordluft från andra djup än det avsedda. 60 cc jordluft motsvarar med 10

Tab. XII. Tättningsförsök med svavelväte.
Dichtigkeitsprüfung mit H₂S.

Mark Boden	Djup Tiefe cm	Anmärkingar Bemerkungen	Aspirerad luftmängd Aspirierte Luftmenge cm ³	Resultat
Råhumus på morän Rohhumus auf Moräne	45	stålsonden, lertätning Stahlbohrer, Lehmdichtung	60	Ingen svärtning Keine Schwärzung
» » »	25	» ingen tätning keine Dichtung	60	» »
Gräs på älvsand Gras auf Alluvialsand	10	» » »	50	» »
» » »	10	enkla mässingsr. » » Messingröhre	60	» »
Naken älvsand (åker) Nackter Alluvialsand (Acker)	10	» » »	60	» »
» » »	10	stålsonden » » Stahlbohrer	60	» »
Russowii-tuva Russowii-Polster	10	» » »	60	» »
»	10	enkla mässingsr. » » Messingröhre	60	» »
»	10	» » »	∞*	Svärtning Schwärzung
Hagmark på lera Trift auf Lehm Boden	10	» » »	0	—**
» » »	10	stålsonden » »	0	—**

% luftrum i marken en jordvolym av 600 cc motsvarande en sfär med 10,5 cm diameter. Om man i en jord med 10 % luftrum tar ett prov om 60 cc på 10 cm djup, kan man alltså vänta att detta prov härstammar från alla möjliga djup mellan ungefär 4,5 och 15 cm.

Men andra ord, de till bestämningarna hörande djupsiffrorna äro belastade med ett fel, som blir större ju större den aspirerade luftmängden är. För att uppskatta storleken av detta fel i mina bestämningar är det rimligare att räkna med 25 % lufthalt i jorden (genomsnittssiffra ur HESSELMANS undersökningar för samma mark där de flesta av mina bestämningar utförts) och man kommer då till värdet 2 cm för radien av en sfärisk jordvolym som innehåller 8 cc jordluft, det vill säga efter alla i det följande angivna djupsiffror borde rätteligen tilläggas: ± 2 cm.

Jag anser detta fel av resonabel storlek. För att nedbringa det till

* Nach Saugung von 60 cc mittels des Gasometers wurde eine reichliche Menge mit dem Munde gesaugt.

** Ingen luft kunde aspireras.
Unmöglich Luft zu saugen.

hälften hade tydligen krävts att man kunnat reda sig med endast en åttondel av den nyssnämnda luftvolymen, d. v. s. inalles 1 cc. Detta hade måhända låtit sig göra om man tagit luftkanalerna i sonderna, gasometern och den dem förbindande gummislangen ännu betydligt mycket trängre, men vinsten hade absolut ej uppvägt de ökade svårigheterna vid handhavandet av en dylik apparat. Framförallt står noggrannheten i definitionen av djupet vid den av mig använda provvolymen i en rationell proportion till analysmetodens noggrannhet, vilket däremot knappt torde kunna sägas om t. ex. ALBERTS undersökningar, för att ej tala om de tidigare undersökningarna med aspiration av många liter luft genom Pettenkofer-rör. ALBERT använde för en bestämning »im mindesten» 500 cc luft, som skulle härstamma från 30 cm djup, men med 25 % luft i jorden blir djupet definierat endast med en noggrannhet av ± 8 cm. I detta prov bestämdes sedan kolsyran, vill det synas, med 0,01 % noggrannhet. Om den insugna luften verkligen, som vi antagit, härstammade från en alldeles sfärisk jordvolym med centrum precis vid borrets insugningsöppning och om dessutom kolsyrehalten stiger lineärt mot djupet, skulle resultatet visserligen lika väl bli felfritt. Men intetdera är antagligen händelsen, d. v. s. ej strikt. Framförallt förefaller det troligt att den tillströmmande luften till en större procent härstammar ifrån ytligare än från djupare jordlager, räknat från det djup dit borret neddrivits. Kolsyrehalten var i ALBERTS försök omkring 0,3 % på 30 cm djup. Om vi anta att den avtar lineärt mot ytan betyder detta en ändring av ungefär 0,01 volymprocent pr cm. Medeldjupet av den jordvolym som levererat luftprovet bör alltså definieras med en noggrannhet av 1 cm för att motsvara en noggrannhet i analyserna av $\pm 0,01$ %. Det förefaller osannolikt att de positiva och negativa felen ta ut varandra i den grad att man kan räkna på den förstnämnda noggrannheten i ALBERTS bestämningar. ALBERT resonerar som så: även om vid sugningen luft uppfifrån, t. o. m. atmosfärisk luft, passerat tvärs genom jorden och skulle komma med i provet, så gör detta ingenting, enär därigenom då blott vore bevisat vad som skulle bevisas, nämligen att jorden är tillräckligt genomtränglig för luft. Detta resonemang måste anses förfelat ur flere synpunkter. För det första gäller det ju en ekologisk undersökning, man vill alltså veta jordluftens sammansättning på ett visst djup under naturliga förhållanden och ej medan en forskare håller på att ventilerat jorden genom sugning med en gasometer. För det andra sker antagligen som vi ovan sett det naturliga gasutbytet huvudsakligen genom diffusion och ej genom genomblåsning, och permeabiliteten under inflytande av tryckskillnader är därför ej det som intresserar mest.

Svårigheter vid provtagningen. Uppsugningen ur jorden av proven gick i ej allt för vattenrik mark utan svårigheter, om man undantar lermarker (se nedan). I våta marker däremot var provtagningen ytterst besvärlig. Så snart det kommer vatten vid sugningen, följer nämligen nästan alltid en del sandpartiklar o. dyl. med, som lätt stoppa till kanalerna i sonden och sugapparaten. I våt morän än provtagningen av denna anledning mycket tidsödande. Rengöringen av sonden, sedan den tillstoppats med sandpartiklar, krävde ofta timplågt arbete.

I marker med kompakt sprickfri lera yppar sig en annan svårighet, nämligen att ingenting kommer, varken vatten eller luft, även vid den starkaste sugning (omkring 200 mm kvicksilver), som kunde åstadkommas med sugapparaten (jfr not p. [116] och anmärkningarna i tab. XIII K—L p. [197]). Mina analyser lämna därför ingen upplysning om sammansättningen av luften i marker med kompakt lera.

Analysisiffrornas betydelse. Alla siffror betyda volymprocent av torr luft. Om temperaturen ej ändras under analysen, behöver man ej införa någon korrektion för att procentsiffrorna skola få denna betydelse, trots det analyserna gälla fuktighetsmättad luft, ty korrektionen skulle ingå som faktor i både nämnare och täljare och förkortas bort. Den omständigheten, att luften analyseras fuktig, inverkar blott så, att man måste göra temperaturkorrektionen något annan än den eljest skulle varit.

KAP. 13. Analysresultat. Allmänna drag hos variationen.

Resultaten av mina bestämningar äro sammanställda i tabell XIII (i tabellbilagan i slutet av avhandlingen). Analyserna avse sammanlagt 247 luftprov, de flesta från skogsmarker av olika slag, några få från andra marker till jämförelse. Tabellen är indelad i underavdelningar efter olika marktyper, och avdelningarna för överskådlighetens skull försedda med kraftiga rubriker. I tabellen upptagas dels originalvärdena, dels »antagna värden», som i regel äro medeltal av två eller flera enkelanalyser. Hur de bildats framgår i varje särskilt fall av tabellen, då ju originalvärdena äro meddelade. Analyser, med vilka uppenbart någon olyckshändelse inträffat, äro naturligtvis ej medtagna; dessutom äro några analyser kasserade, som givit ett från två andra samstämmande analyser av samma prov så avvikande värde, att de måste anses som förolyckade, ehuru någon olyckshändelse ej direkt iakttagits under analysens gång. Vid begagnande av en apparat, som har de egenheter som den Kroghska, är det berättigat att göra så (se KROGH 1915).

I tabellen meddelas vidare datum och plats för insamlingen av provet, det djup från vilket provet härstammar, anmärkningar framförallt rörande iakttagelser om vattenhalten i jorden samt nederbördssiffror för föregående 1 och 2 veckor.

Beträffande insamlingsställe för proven meddelas i tabellen av utrymmesskäl endast en summarisk uppgift; i stället återfinnas detaljerade lokalbeskrivningar i avd. V, till vilka i varje enskilt fall en siffra i tabellen hänvisar. Över en lokal, ett område å Kulbäckslidens försöksfält, från vilket en rad prov härstamma, meddelas en karta (fig. 11), som även återfinnes i avd. V (p. [164]).

Nederbördssiffrorna äro för lokalerna å Kulbäcksliden och trakten där omkring (krp. Gransjöberget, krp. Åheden) hämtade från observationerna vid Kulbäckslidens by; för Roklidens försöksfält, tallheden vid Fagerheden och Långträsk från observationer vid Fagerhedens by; för lokalerna å krp. Vallåsen å Hallandsås har jag använt medeltal av siffrorna från Båstad och Knäred; för Hallands Väderö siffrorna från fyrstationen därstädes; för Dalby och Övedskloster Lundasiffrorna. Alla dessa uppgifter äro dessutom överskådligt framställda i tab. XIV jämte månadssummorna av nederbörd för sommarhalvåret för stationerna Fagerheden, Kulbäcksliden, Lund och Halmstad. I denna tabell meddelas vidare helt summariskt värmeförhållandena för de dagar, då prov togos, i form av differensen i hela Celsiusgrader mellan ifrågavarande dags medeltemperatur och normaltemperaturen. De härför använda stationerna äro Stensele för de norrländska och Halmstad för de sydsvenska lokalerna.

Med nederbörden för den eller de två föregående veckorna menas summan av 7 resp. 14 dagars nederbörd, av vilka den sista dagen är den som föregår provtagningsdagen. Värdena representera alltså observationerna från 7 resp. 14 dagar i följd, till och med observationen kl. 8 f. m. den dag då proven togos.

I nästa kapitel skall redogöras grupp för grupp för analys-siffrorna med samma indelning i grupper som i tabell XIII. Före granskningen av värdena med hänsyn till olikheterna mellan olika slags marker är det dock lämpligt att diskutera variationen med olika väderlek och med olika djup.

Variation med olika väderlek. Om man granskar siffrorna under A i tabell XIII, skall man finna, att av de 1920 tagna proven (provnummer under 60) inga visa lägre syrehalt än omkring 20 % eller en kolsyrehalt som uppnår 1 %. Går man däremot till siffrorna för 1921, skall man bland siffror som hänföra sig till alldeles samma lokal som proven 40—41 och 51—54 från 1920 (området närmast kajan å Kulbäckslidens försöksfält, jfr kartan fig. 11) finna värden ned till omkring 16 % syre och upp till $1\frac{1}{2}$ % kolsyra (prov 117—119). Det sista

provet, 119, härstammar visserligen från ett 15 cm större djup än det djupast tagna från 1920, men även om vi utesluta detta, så är provet 118 kvar med 17 % syre och $1\frac{1}{2}$ % kolsyra.

Om vi jämföra värdena inom den från samma fläck härstammande provserien 12, 17, 18, 33 (tabell XIII B) med varandra, finna vi, att från den 19. till 20. augusti syrehalten ökat från 16 till 18 % och kolsyrehalten minskat från $1\frac{1}{2}$ till 1 % (prov 12 och 17, bägge från samma djup). Till den 30. augusti synes syrehalten ytterligare ha ökat med 1 %, dock härstammar provet 33 från ett 5 cm mindre djup.

Jämför man det tyvärr enstaka provet 59 från 30 cm djup (tabell XIII B) med de från samma lokal och mindre eller samma djup härstammande proven 183, 185, 187, 189—191, så skall man finna, att de senare genomgående visa lägre syrehalt och större (i ett fall samma) kolsyrehalt.

Går man slutligen till värdena grupp F i tabell XIII, så finner man där i början en serie analyser från samma lokal, en liten ljunghedsbacke invid en mosse å krp. Vallåsen. Analyserna avse dels prov, som tagits på försommaren, i början av juni, dels höstprov, tagna i september månad, å samma fläckar. Vårproven (nr 60, 61, 75, 62, 63, 74) innehöllo som synes genomgående betydligt mer syre och mindre kolsyra än höstproven (nr 235, 236, 237). Av de förra har endast ett, nr 62, visat en avsevärd syrebrist och hög kolsyrehalt (14 % syre och 4 % kolsyra); detta prov härstammar från ett större djup än något av de andra, nämligen 75 cm. Bortser man från detta prov och jämför de övriga, finner man att i juni på djup intill 60 cm ingenstädes påträffades en lägre syrehalt än 18 % eller en högre kolsyrehalt än 2 %, medan på hösten på 30 cm djup den högsta påträffade syrehalten var 17 % (den lägsta 4 %) och den lägsta påträffade kolsyrehalten över 2 % (den högsta 5 %). Skillnaden är alltså högst påtaglig.

Flere exempel på dylika variationer kunna utläsas ur tabellen, men det anförda må vara nog. Vad är då orsaken till dessa variationer? Beträffande det första och andra av de anförda exemplen, från torrmarken vid kojan å Kulbäcksliden och från liden vid Fagerheden, kunde man tänka på olikheter i temperatur. Proven 1920, som visade högre syrehalt och lägre kolsyrehalt, togos något senare på hösten. Beträffande det hastiga sjunkandet av syrebrist och kolsyrehalt i serien prov 12 etc. och stegringen från vår- till höstvärdena å den anförda ljunghedslokalen å Vallåsen går däremot ej denna förklaring. Temperaturen var högre den 20. än den 19. aug. 1920 i Stensele. Vårproven från Vallåsen togos under en period av intensiv värme och höstproven vid en väderlek som visade ungefär normal värme för årstiden, början av september, så att de absoluta temperatursiffrorna voro större på våren än på hösten. Detta

gäller visserligen lufttemperaturen, men efter en så pass lång och intensiv värmeperiod som marken i Vallåsen varit utsatt för då proven togos i juni bör även marktemperaturen varit ganska hög.

Alla de anförda exemplen liksom de andra dylika skillnader, som kunna utläsas ur tab. XIII, förklaras i stället enkelt och enhetligt ur den olika markfuktigheten vid provtagningstillfällena. När proven å Kulbäcksliden togos 1920, var marken torrare än vid tiden för provtagningen 1921. Detta framgår redan av nederbördssiffrorna tab. XIV B, och kunde ännu tydligare direkt iakttagas (jfr anmärkningarna i tabell XIII). Samma var förhållandet i liden vid Fagerheden. Här peka visserligen ej nederbördssiffrorna entydigt i denna riktning, men som anmärkt i tab. XIII var grundvattenståndet vid provtagningen 1920 mycket lågt (mer än 1,9 m), medan 1921 marken var så vattenrik, att på flere ställen redan på 15 cm djup vatten kom med provet, eller rentav det vid sugningen kom endast vatten och ingen luft. Av tab. XIV A framgår även, att proven 1920 togos efter en regnfattig augusti, proven 1921 under en ovanligt regnrik augusti månad.

Beträffande proven från den nämnda lokalen å Vallåsen gäller samma sak, nämligen att jorden var betydligt vattenrikare vid tiden för tagningen av de senare proven. Detta framträder visserligen ej av siffrorna för den föregående veckans nederbörd, däremot i någon mån av motsvarande siffror för de föregående 2 veckorna och tydligast av den direkta iakttagelsen (se anmärkningarna i tab. XIII).

Vid en granskning av tab. XIII skall man överhuvudtaget finna, att de särskilt låga syrehalterna och höga kolsyrehalterna funnits vid tillfällena, då marken varit så vattenrik, att detta givit sig tillkänna därigenom att vätska kommit med provet vid sugningen.

Denna parallellvariation av markluftens sammansättning med markens vattenhalt står som vi erinra oss i mycket god överensstämmelse med vår utredning ovan och med föregående erfarenheter, t. ex. de kap. 8 citerade av RUSSELL & APPELYARD (1915) och av GAARDER & HAGEM (1921).

RUSSELL & APPELYARD funno som ovan (kap. 8) nämnt en stark korrelation mellan kolsyre- och syrehalt i markluften å ena sidan och nederbörden under 7 dagar före provsamlingen å den andra. Enligt mitt material från svenska skogsmarker synes sambandet ibland starkare med 7-dagarssiffrorna, ibland med 14-dagarssiffrorna, ibland rätt dåligt med bäggedera. Vad som alltid håller streck är sambandet med markens vattenhalt för ögonblicket på den fläck, där provet togs. Denna bestämmes uppenbarligen i vissa fall huvudsakligen av den sista veckans nederbörd, i andra mer av de sista 14 dagarnas, i åter andra av nederbörden under ännu längre perioder.

Det ur ekologisk synpunkt viktiga är att markluftens sammansättning å en viss fläck ej är konstant, utan varierande. För att bedöma analysvärdena måste man söka göra klart för sig, vad slags värden de representera, om de mest närma sig normalvärden, maximi- eller minimivärden. Den enande synpunkt vi dels ur uppgifter i litteraturen, dels som ett resultat av vår utredning kap. 7—8, dels slutligen genom granskning av analysmaterialet tab. XIII vunnit, nämligen att det är vattenhalten i jorden som det framförallt kommer an på, skall hjälpa oss vid detta bedömande. Det är t. ex. rimligt att anta, att mina siffror från norra Sverige 1921 snarast ha karaktären av maximisiffror för syrebrist och kolsyrehalt, då som synes av tab. XIV juli—september äro de regnrikaste månaderna under sommarhalvåret, vid samtidigt hög temperatur, då augusti 1921 uppvisade en nederbörd av ungefär dubbla den normala, då genom direkt iakttagelse konstaterades att marken var ovanligt vattenrik, och då slutligen av föregående erfarenheter framgår, att vintern på våra breddgrader, trots markens vattenrikedom, ej brukar uppvisa något maximum av syrebrist eller kolsyrehalt, helt visst därför att omsättningen då på grund av den låga temperaturen är så svag (jfr kap. 2). Beträffande siffrorna från ljunghedarna på Vallåsen kan det samma ej så säkert påstås, då september månad i de ifrågavarande trakterna var torrare än normalt. Dock härstamma analyserna från tiden efter en mer än normalt regnrik augusti.

Amplituden av variationen i olika typer av skogsmark är av mina siffror att döma betydligt olika, som vi skola se i det följande av redogörelsen för de absoluta värdena under de olika grupperna.

Variation med olika djup. Vid mina undersökningar ha i allmänhet prov från olika djup tagits på varje lokal. Vid en jämförelse mellan siffrorna från olika djup finner man, att syrebristens och kolsyrehaltens ökning mot djupet i olika marker kan förlöpa väsentligt olika. Som ett exempel på den ena typen kunna följande prov tjäna:

Djup, cm	A. Mossrik granskog					D. Tall- hed	F. Ljung- hed	G. Kultur- granskog på ljunghed
	124—126	127—129	111—113	130—131	136—137	151—159 M	227—234 M	220—226 M
15.....	0,5; 0,2	0,6; 0,2	0,7; 0,3	0,6; 0,3	0,8; 0,2	0,4; 0,1	0,7; 0,3	0,8; 0,5
30.....	0,8; 0,3	0,8; 0,4	0,5; 0,2	— —	— —	— —	— —	— —
45.....	— —	— —	0,8; 0,4	— —	— —	— —	— —	— —
60.....	0,8; 0,4	— —	— —	— —	— —	} 0,4; 0,2 {	0,8; 0,4	1,3; 0,9
75.....	— —	0,7; 0,3	— —	0,9; 0,5	0,8; 0,3		— —	— —

I varje par av tal betyder det första syrebrist, det andra kolsyrehalt, bägge i volymprocent av totalvolymen. De med M utmärkta kolumnerna innehålla medeltal av flere värden å varje djup. Ett värde som avser 30 cm djup har fått komma med under rubriken 30 cm (prov 128), ett från 55 cm djup ingår i medeltalet för 60 cm (prov 223).

I andra fall kan ändringen mot djupet förete en helt annan bild:

Djup cm	B. Mossrik granskog med ekbråken	F. Ljunghed		K. Alkärr
	132—133	211—212	215—216	80—82
15.....	1,4; 0,8	1,8; 1,2	1,5; 1,0	0,3; 0,2
30.....	4,2; 1,5	— —	— —	1,3; 1,0
45.....	— —	— —	— —	4,6; 2,0
60.....	— —	12; 2	11; 1/2	— —

Syrebristen och kolsyrehalten stiga således i vissa marker mot djupet med starkt avtagande hastighet. Ofta är det ingen eller ingen nämnvärd skillnad mellan syre- och kolsyrehalterna på 15 cm djup och dem på 45, 60 eller 75 cm. I andra fall däremot kan syrebristen från ett visst djup och nedåt rentav stiga hastigare än närmare ytan, vilket dock samtidigt ej behöver vara fallet med kolsyrehalten.

Den förra typen är den vanligaste och synes vara den normala för alla normalt dränerade marker. Förutom de nyss anförda exemplen visa t. ex. serierna under H i tab. XIII (råhumusbokskogar) denna typ, och vi erinra oss (kap. 2), att RUSSELL & APPEYARD funno ett dylikt förlopp hos ändringen med djupet i åkerjord. Vi minnas även, att vi (kap. 7) med stöd av föreliggande uppgifter angående fördelningen av aktiviteten i jorden fordrade en form hos kurvorna för p_+ och p_- av denna typ för homogent lufthaltiga marker. Kurvan synes i våra skogsmarker enligt mina analyser i stort sett vara ännu mycket flackare nedom 15 cm djup än vad kurvan fig. 4 (kap. 7, Diffusion, Fall 3) visar. Detta fordrar — under förutsättning av homogen lufthalt — att aktiviteten i de ifrågavarande markerna är ännu mer koncentrerad mot ytan än enligt WAKSMANS siffror fig. 3. Nästan säkert är även så förhållandet t. ex. i de norrländska råhumusgranskogarna. Nästan all biologisk aktivitet torde vara samlad i humustäcket, där huvudparten av alla rötter förlöpa och där svampars och bakteriers verksamhet är koncentrerad, och rå humustäcket ligger där så att säga löst på blekjorden, skarpt avgränsat från denna.

Den andra typen, där alltså ändringen från ett visst djup nedåt är till och med hastigare än närmare ytan, har jag påträffat i marker, där jorden inom det undersökta djupområdet är avsevärt våtare nedåt. Att kurvan just i dylika marker är mindre flack och till och med kan kröka uppåt, står även det i full överensstämmelse med vad ovan sagts kap. 8. Kurvan måste som där framhållet i varje punkt bli så många gånger brantare, som lufthalten är nedsatt på grund av vattnet. För att kurvan — i det stationära tillståndet — mellan två olika nivåer överhuvud skall ha en lutning fordras emellertid, att aktivitet ännu härskar på större djup än den översta av dessa nivåer, alltså i de anförda exemplen under 15 resp. 30 cm. I själva verket är det just i på djupet humusrika marker som jag påträffat denna typ, i ljunghmarker med långt ned smutsig blekjord och i alkärr. Det första av de anförda exemplen avser dock ej dylik mark, utan mossrik granskog, visserligen en fläck med något försumpad profil.

Nu får man ej hårdraga dylika resonemang och fordra en matematisk överensstämmelse mellan en skematisk teori och verkligheten. Man måste t. ex. tänka på, att så snart marken är så vattenhaltig, att den luft som finns där är i form av blåsor, instängda på alla håll av vatten, så bildar detta vatten med de instängda blåsorna ett system för sig, som endast ytterst långsamt sätter sig i jämvikt med markluften ovanför. Blåsornas sammansättning anger helt enkelt vattnets halt av olika gaser, och detta vatten kan t. ex. vara grundvatten, kommet från ett annat håll, och man kan därför i dylika mycket våta marker vänta det mest regellösa förlopp av syrebristens eller kolsyrehaltens förändring med djupet.

Kolsyrans förändring med djupet är i sådana marker ofta regellösare än syrets. Som av de anförda exemplen framgår, kan stundom kolsyran minska mot djupet, medan samtidigt syrebristen tilltar. Det är hela tiden fråga om våta marker, och så ligger det nära till hands att antaga, att kolsyran minskar därför att en allt större procent därav löses i det allt rikligare vattnet. En annan möjlighet är att syreförbrukningen på de större djupen till avsevärd del är en rent kemisk oxidation av humusämnena, och att därvid mindre kolsyra än vanligt bildas.

Det är klart, att man skall påträffa övergångar mellan de beskrivna två typerna, t. ex. en gång av ändringen med djupet, som närmar sig ett lineärt förlopp, Serier som visa dylika övergångsformer återfinnas under B och C i tab. XIII.

Den inbördes storleken av syrebrist och kolsyreöverskott. I tabellen är ej syrebristen uträknad, då det är en så enkel operation att subtrahera de angivna värdena från 21, att den utan vidare kan göras i huvudet. Om man jämför värdena för syrebrist och kolsyrehalt ($= \text{CO}_2$ -

överskott, eftersom luftens ringa kolsyrehalt är betydligt mindre än felen i analyserna), skall man finna, att vid stigande syrebrist kolsyreöverskottet stiger långsammare, i vissa fall (jfr nyss anförda exempel) ej alls. Summan av syre och kolsyra är i allmänhet mindre än 21 % och underskottet är i allmänhet större, ju större syrebristen är. Sak samma har man funnit vid föregående undersökningar (jfr ovan kap. 8, Beteiligte Gase). Nu verkar det systematiska felet i kolsyrebestämningen i mina analyser därhän, att framkalla ett skenbart dylikt underskott, och ett litet underskott är därför ej säkert. Om det systematiska felet i kolsyran är — 20 % av kolsyremängden, framkallar detta följande skenbara underskott, om den sanna summan av syre och kolsyra är 18—21 %;

Vid en kolsyrehalt av:	1	2	3	4	5	vol.-%
Skenbart underskott	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	» »

Så små underskott som dessa få alltså ej anses som verkliga. Emellertid uppgå de funna underskotten som framgår av tabellen oftast, ja, så gott som genomgående, till betydligt högre belopp. Dessutom ha de största underskotten träffats i marker med rikligt vatten, där alltså analyserna (se ovan, kap. 12, analysapparat, fellatitud) i de flesta fall äro utan nämnvärt systematiskt fel.

En summa av syre- och kolsyrehalt, som uppgår till 21 %, finner man endast i enstaka analyser, och underskottet är, även där det absolut taget är litet, i regel betydligt, mellan 3 och 10 gånger så stort som det fel som man enligt ovanstående har att räkna med. Se t. ex. hela serien av analyser under A i tab. XIII.

Så snart en betydligare syrebrist förefinnes, uppgår underskottet i summan till betydande belopp. Här nedan har jag sammanfört värdena för de prov, som visat de betydligaste underskotten.

C. Hotad och försumpad granskog			F. Dålig ljunghed		
Prov	O ₂ + CO ₂ vol.-%	21 — (O ₂ + CO ₂) vol.-%	Prov	O ₂ + CO ₂ vol.-%	21 — (O ₂ + CO ₂) vol.-%
44	14,5	6,5	235	12,9	8,1
47	8	13	237	9,3	11,7
49	6	15	212	11	10
145	13,3	7,7	216	11 ^{1/2}	9 ^{1/2}
135	13,7	7,4			
138	6,8	14,2			
139	6,2	14,8			
139a	2 ^{1/2}	18 ^{1/2}			
140	2	19			
142	4	17			
			M. Mosse		
			143	14	7
			146	9	12

Den minsta syrehalt som något prov visat i mina analyser är omkring $1\frac{1}{2}$ % (prov 139 a), motsvarande en syrebrist av $20\frac{1}{2}$ %, men den största kolsyrehalt jag någonsin funnit uppgår ej till mer än 6 % (prov 47).

De möjliga orsakerna till att kolsyran ej följer syrebristens ökning, utan blir efter, ha vi ovan talat om (kap. 8, Beteiligte Gase, samt tidigare i detta kapitel, under Variation med djupet).

Sammanfattning. Granskningen av siffrorna med hänsyn till allmänna, d. v. s. på varje plats och i olika slags marker återkommande drag i variationen har givit till resultat, att variationen med tiden följer vattenhalten i jorden, samt att variationen med djupet i normal-dränerade skogsmarker har ett förlopp vars allmänna gång överensstämmer med den ovan kap. 7 beräknade, men visar en kurva som är ännu flackare mot djupet, däremot i sådana fall, där vattenhalten från och med ett visst djup är väsentligt annorlunda än närmare ytan, kan hastigt öka nedåt. Bäggedera visar vilken stark inverkan vattenhalten i jorden har på markluftens sammansättning, och står i full överensstämmelse med den i flere föregående kapitel förda diskussionen. De siffror, som diskuterats under den sista punkten, den inbördes storleken av syrebrist och kolsyreöverskott, belysa i sin mån samma sak.

KAP. 14. Analysresultat, sammanställda för olika marker.

A. Torra råhumusgranskogar.

Denna grupp omfattar granskogar i övre Norrland, Norrbotten och Västerbotten. Gemensamt för dem alla är ett kraftigt råhumustäcke på oförsumpad mark. De flesta proven härstamma från dåligt växtliga, råhumusbesvärade skogar med mycket blåbärsris i marktäcket, några från växtligare skog med markvegetation antydande en mer godartad råhumus.

Den flitigast undersökta lokalen är en mossrik, tämligen blåbärsrik granskog på en liten moränås å Skogsförsöksanstaltens försöksfält vid Kulbäcksliden, Västerbotten. Granarna äro dåliga till oväxtliga, lavbehängda. Närmare beskrivning på lokalen återfinnes i avd. V, lokalbeskrivning nr 2, med karta fig. 11.

Det var här som undersökningarna togo sin början. Redan de första analyserna gävo mig den då för mig överraskande upplysningen, att det i varje fall ej kan vara tal om att råhumusen generellt sett utgör ett hinder för genomluftningen. Avvikelserna från luftens normala syre- och

kolsyrehalt, som jag hade väntat att få räkna åtminstone i ett par hela procent, belöpte sig i samtliga analyser från juli—augusti 1920 endast till tiondedelar. Undersökningarna i augusti 1921 förändrade ej denna bild. Analyserna gävo, som synes av tab. XIII A, i allmänhet värden på syrehalten, som ej understego 20 %, och värden på kolsyrehalten av några tiondedels procent. Detta för samtliga undersökta djup, d. v. s. ned till 75 cm, alltså djupt ned i moränen. Nu togos dessa prov under en våtperiod, och det är därför anledning anse dem snarast som maximumvärden för punkterna i fråga.

I väl-dränerad mark med råhumustäcke kan sålunda vattnet sjunka undan så fort, att någon syrebrist att tala om ej inställer sig ens under våtperioder.

Några prov ha emellertid givit något större värden på syrebrist och kolsyreöverskott. Dessa äro proven nr 115, 116, 117, 118, 119. Alla dessa ha visat syrehalter under 20 %, i ett fall på 45 cm djup 16,3 % (prov 119), och kolsyrehalter av bortemot eller över 1 %, upp till 1,6 % (prov 117). Om man jämför anmärkningarna i tabellen, skall man finna att samtliga dessa prov hänföra sig till punkter, där marken vid provtagningen var så vattenrik, att vatten kom vid sugningen tillsammans med provet. Vid tagningen av prov 119 (det syrefattigaste, med 16,3 % syre), kom vid sugningen mest vatten och en mindre kvantitet luft. Lokalt och tillfälligt kan alltså vattenhalten i marken under våtperioder även i denna genomsnittligt torra, oförsumpade råhumusmark hålla sig hög tillräckligt länge för att åstadkomma en syrebrist av några procent.

Till jämförelse med de anförda siffrorna vill jag först hänvisa till analyserna 149—150, tab. XIII O, som härstamma från en åker med vacker havre vid Kulbäckslidens gård och från ungefär samma tid som de anförda analyserna augusti 1921 från granskogen å Kulbäckslidens försöksfält. Syrehalten var i de nämnda analyserna från havreåkern 19,6 % å 15 och 45 cm djup, kolsyrehalten bortemot 1 %. Syrebristen och kolsyrehalten voro alltså i dessa prov större än i majoriteten av proven från granskogen. Härvid är att märka, att bägge proven voro torra, syrebristen och kolsyrehalten voro alltså ej maximala.

Till jämförelse med de anförda proven från granskogen med maximal syrebrist och kolsyrehalt hänvisar jag till LAUS och RUSSELLS & AP-LEYARDS siffror i tab. I. Den lägsta syrehalt, som de senare forskarna funnit i ett gödslat vetefält, är 17,6 % på 15 cm djup, LAUS lägsta siffra är 16,0 % och härstammar från 60 cm djup i en åker på mossjord. De maximala kolsyrehalterna äro 2,3 resp. 4,4 %. Även i välarbetad kulturjord uppträda alltså syrebristvärden och kolsyrehalter som tävla med

och överträffa de största i mina analyser från den torra råhumusmarken å försöksfältet funna.

Låt oss då gå till nästa undersökta lokal, som ligger på samma lilla moränås som den förra. Här är skogen bättre, lövblandad. Lokalen är närmare beskriven i lokalbeskrivning 2. Den bild som siffrorna här ge, är alldeles densamma som för den förra lokalen. De flesta analyserna ha visat syrehalter över 20 % och kolsyrehalter om några tiondedels procent (för alla djup ned till 75 cm), men på en punkt gick syrehalten ned till något under 17 % och kolsyrehalten steg till 1,5 % (30 cm djup, prov 133). Här kom något vatten med provet.

De allra först i tab. XIII A upptagna proven härstamma från ett annat skogsskifte i närheten av de förra lokalerna, prov nr 30 (som avser två prov från olika punkter) från en vacker örtrik skog, de övriga från en sämre, blåbärsrik. Hela vägen hålla sig syrehalterna över 20 %, kolsyrehalterna vid några tiondedelar; proven härstamma från djup ned till 75 cm. Markluftningen är alltså förstklassig.

De sist under A i tabellen upptagna proven härstamma från Roklidens försöksfält i Norrbotten (se lokalbeskrivning nr 1). Skogen är mycket dålig, råhumusen tjock, seg och hopfildad. Analyserna visade en syrehalt av omkring 20 %, en kolsyrehalt under 1 %, utom i ett prov från 56 cm djup, där syrehalten var 19,2 % och kolsyrehalten 1,1 %. Här voro proven torra, man kan alltså vänta sig en större syrebrist och kolsyrehalt under extremt våtväder.

Alla analyser från torra, även råhumusbesvärade marker i övre Norrland ha alltså överensstämmande givit till resultat detsamma som redan de första orienterande analyserna visade, nämligen att även en svårartad råhumus ingalunda utgör något generellt hinder för markluftningen. Detta resultat står i full överensstämmelse med ALBERTS ovan (kap. 10) citerade, men däremot i bjärt motsats till de åsikter, som förfäktas av GRÄBNER m. fl. (se kap. 10).

Hur skall man då förklara denna brist på överensstämmelse? Vad GRÄBNER beträffar, har han kommit till sin uppfattning på grund av experiment, refererade ovan kap. 10. Dessa experiment äro visserligen som redan kap. 10 anmärkt i och för sig ej så alldeles avgörande, då GRÄBNER vid anställandet och tolkningen av experimenten utgått från den förutfattade och som vi ovan kap. 7 visat ohållbara meningen, att jordens permeabilitet, d. v. s. graden av genomsläpplighet för luft under inflytande av tryck, är ett mått på genomluftningen däri. Detta är som vi visat ett misstag, då permeabiliteten varierar enormt med olika kornstorlek hos jorden, men däremot den viktigaste markluftningsfaktorn, diffusionen, är inom mycket vida gränser oberoende

därav. Emellertid förefaller det mycket sannolikt att GRÄBNER har rätt för det fall, hans undersökning avser. Han beskriver nämligen råhumusen i naturligt tillstånd i det avsedda beståndet som en fuktig, knådbar massa. Att ett råhumusskikt i blött tillstånd är ett hinder för ordentlig markluftning är att vänta, och vi skola nedan se att så är fallet. Råhumusen i våra oförsumpade mossrika, blåbärsrika granskogar har emellertid en helt annan karaktär än den av GRÄBNER avsedda granråhumusen. Den är under vegetationsperioden påfallande torr, vilket möjligen står i samband med rikedom av vattenuppsugande rötter av blåbär m. m. i densamma (prof. H. HESSELMAN, muntligt meddelande). Råhumusens karaktäristiska mekaniska egenskaper, dess seghet och filtaktiga struktur utgöra tydligen intet hinder för diffusionen. Det är ju även ganska självklart, att en sådan egenskap som seghet intet skall ha att göra med diffusionens effektivitet, vilken beror på lufthalten och, efter passerandet av en viss storleksgräns, på dimensionerna hos porerna i jorden. En konstgjord råhumus av hopfiltade fina ståltrådar skulle vara ännu mycket segare än naturlig råhumus, men ingen torde tvivla på att diffusionen i mellanrummen mellan ståltrådarna skulle gå med normal hastighet. När det gäller råhumusen och dess hindrande roll vid markluftningen tycks man emellertid ibland kanske omedvetet ha satt likhetstecken mellan den utpräglade råhumusens mekaniska egenskaper och dess hinderlighet vid markluftningen (jfr t. ex. framställningen hos GRÄBNER 1921 p. 105—107).

Något motsvarande den av GRÄBNER beskrivna normalt blöta granråhumusen torde vi ej ha i Sverige. De åtminstone ytligt sett närmast därmed jämförliga förhållandena torde träffas i kulturgranskog på gammal ljunghedsmark i södra Sverige. För analysresultaten från dylika marker kommer att redogöras nedan under G.

B. Skog i lider med rikligare örter.

Denna grupp är något heterogen. Den omfattar lidskogar med betydligt olika utpräglad råhumus, olika markvegetation och även olika trädbestånd. Det är dock städse fråga om mossrika skogar med mer eller mindre stark inblandning av örter i markvegetationen, och i trädbeståndet finns alltid gran, med eller utan blandning med tall eller lövträd. Genomgående är förekomsten av ekbräken, *Dryopteris Linnæana*, i markvegetationen, antydande något fuktigare mark.

Den första lokalen är närmare beskriven under 4 i avdelningen lokalbeskrivningar. Det är fråga om ett bestånd, där en egendomlig motsättning råder mellan markvegetationens och humuslagrets karaktär och

skogsbeståndets utseende. Markvegetationen är som framgår av den avd. V: 4 meddelade Raunkiær-analysen rik och råhumusen är betydligt mullartad, men trädbeståndet består av oväxtlig och dålig, mycket lavig gran. Detta torde ha sin grund i beståndets historia. Antagligen har beståndet kommit för tätt och självt hämmat sin utveckling. Det är nu överårigt, men fortfarande alltför tätt.

Analyserna, som härstamma från augusti 1920, visa för det mesta en syrebrist av en till ett par procent och en kolsyrehalt varierande från 0 till 1,5 %. Den största observerade syrebristen är 5,2 % å 20 cm djup (prov 12). Följande dag hade den minskats till 3 % att döma av prov 17 från samma djup, taget $\frac{1}{2}$ m ifrån det förra. Ytterligare 10 dagar senare funnos endast värden av syrehalt, som överstego eller obetydligt understego 20 %. Förklaringen härtill ser jag som ovan (kap. 13: variation med olika väderlek) nämnt i den hela tiden fortgående minskningen av markens vattenhalt. Grundvattenståndet (kunde observeras i en grop strax intill) var enligt mina anteckningar hela tiden stätt i sjunkande. Man ser även hur värdena för den ackumulerade nederbörden sjunka från den 19—20. till den 30. augusti 1920. (Tab. XIV samt kolumnerna till höger tab. XIII.)

Nästa lokal (lokalbeskrivning 5) är en liten svacka med bättre gran än å omgivande marker, belägen i samma skogsskifte som de under lokalbeskrivning 1 upptagna. Proven togos under torrväder och analyserna visa syrehalter av över 20 % samt nästan ingen kolsyra.

De två följande proven (132—133) tillhöra en grupp, för vilken redan redogjorts (under A). Lokalen intar en mellanställning, och så ha de fått komma med även här. Den ena av dessa analyser visar på 30 cm djup en syrehalt av ej fullt 17 % och en kolsyrehalt av 1,5 %. Proven togos augusti 1921, marken var fuktig, vatten kom med provet.

De två nästa proven, 14—15, togos i en sluttning med vacker växtlig medelålders lövblandad granskog (lokalbeskrivning 6). Syrehalten var ungefär 20 % på 15—20 cm djup, kolsyrehalten en till ett par tiondedels procent. Detta var i augusti 1920. I augusti 1921 (noggrant den 9. VIII) var det på samma lokal omöjligt att ta markluftprov. Marken var så vattenrik, att endast vatten kom vid sugningen redan å 10 och 15 cm djup. Hurudan markluftningen är å denna lokal under våtväder kunna alltså analyserna ej ge upplysning om.

Proven 20—22 härstamma från en lokal med växtlig blandskog av tall, gran och gråal i en sluttning med fint älvsandsmaterial ned mot Ume älv (lokalbeskrivning 7). Proven, som togos under en torrvädersperiod, visade syrehalter som ligga mellan 20 och 21 procent och ingen eller någon tiondedels procent kolsyra.

Nästa lokal är granskog, som med avseende på trädens höjd och växtlighet representerar det bästa, som trakten erbjuder, och är belägen i en stark slutning å krp. Gransjöberget i Degerfors (lokalbeskrivning 8). Proven togos under en våtperiod, men proven själva voro samt och synnerligen torra. Syrehalten ligger vid 20 % eller högre på alla undersökta djup (ned till 45 cm; sedan omöjligt att ta prov för vatten), och kolsyrehalten utgör några tiondedels procent; högsta värdet är 0,6 %.

Vi komma så till några lokaler från Norrbotten. Det första provet, nr 58, är en enstaka analys från en sluttning med växtlig blandskog på sand (lokalbeskrivning 9) och visade $20\frac{1}{2}$ syre och $\frac{1}{2}$ % kolsyra. De följande proven härstamma från en lid med växtlig lövblandad granskog, örtrik markvegetation och gynnsam markbeskaffenhet (mulljordsprofil). Lokalen hör till dem som undersöktes av HESSELMAN vid hans grundvattensstudier (se vidare lokalbeskrivning 10). Proven togos under våtväder och marken var som anteckningarna i tab. XIII visa så vattenrik, att på flere punkter vatten kom med provet på 15 cm djup. Trots detta visa analyserna ingen avsevärd syrebrist eller kolsyrehalt, om än värdena delvis tydligt avvika från de normala för torra marker under torrväder. Syrehalten håller sig å de undersökta djupen, 15 till 55 cm, omkring 19—20 %, kolsyrehalten varierar från omkring $\frac{1}{2}$ till $1\frac{1}{2}$ %. Lägsta funna syrehalten var 18,4 % å 55 cm djup, högsta funna kolsyrehalten 1,5 % å 50 cm djup.

Granskar man dessa siffror, skall man finna, att under torrväder markluftningen är ungefär lika god som under torrväder på de torra utpräglade råhumusmarkerna. Under våtväder kan en syrebrist och ett kolsyreöverskott på ett par (i ett fall syrebrist intill 5) procent träffas, alltså även då ungefär likadant som i de utpräglade råhumusmarkerna. I siffrorna från starka sluttningar (Gransjöberget, sluttningen med mulljord vid Rokliden) kan en intressant avvikelse spåras, i det syre- och kolsyrehalterna trots markens vattenrikedom avvika endast obetydligt från de normala. Detta hänger sannolikt tillsammans med den hastiga vattenavrinningen och grundvattnets rörlighet i dessa marker. Vid HESSELMANS grundvattensanalyser visade det sig, att det rörliga grundvattnet i dylika lider, som t. ex. just den nämnda sluttningen vid Rokliden, visade en betydande syrehalt, i motsats till förhållandet uppe å försöksfältet ovanför liden. Detta återspeglas alltså i markluftens sammansättning vid våtväder.

C. Hotad och försumpad granskog.

De första 14 proven härstamma från Kulbäckslidens försöksfält och punkterna för provtagningen äro inlagda å kartan fig. 11.

Genast en första blick på siffrorna ger vid handen, att variationen här rör sig inom helt andra gränser än i de förut behandlade markerna. Endast tre prov, nr 42, 121 och 48, från 5 till 15 cm djup, komma upp till en syrehalt av 20 % och ned till en kolsyrehalt under 1 %. I alla de andra proven är syrehalten i de flesta fall avsevärt lägre och går ned till ett så lågt värde som 1 % (prov 49) medan kolsyrehalten stiger till ungefär 6 % (prov 47). Det djup, från vilket proven härstamma, är, fränsett de två sista proven, som vi tillsvidare bortse ifrån, endast 15 cm, och en stor del av proven, för övrigt just de, där den största syrebristen visat sig, äro tagna under torrväder. Marken var likväl därför ej torr, som framgår av anmärkningarna i tabellen. Tvärtom sammanfalla som förut syrebrist och rikedom av vatten i marken. De prov som visat mest utpräglad syrebrist äro utan undantag sådana, där vatten kommit med luften vid sugningen, och provet med den största syrebristen bestod endast av en liten luftblåsa, som kom tillsammans med mycket vatten vid sugningen.

I gransumpskogen och även i den s. k. hotade zonen med spridda vitmossfläckar och svällande björnmossstuvor härskar sålunda normalt, även under torrväder, redan på ringa djup på ett stort antal punkter en avsevärd syrebrist. För att belysa förändringen i markluftens sammansättning vid övergången från den torra marken till den hotade zonen äro en del prov tagna utefter en profilinje, som går uppifrån den torra marken nedåt sluttningen (prov 111—123, jfr kartan fig. 11). De första proven utefter denna linje återfinnas under A i tabell XIII. Går man till siffrorna, finner man att syrehalterna i de olika proven på samma djup (15 cm) äro i ordning uppifrån (prov 111, 114, 117, 120, 121, 122, 123): 20,3; 19,9; 18,8; 20,4; 20,2; 15,9; 16,2 % och kolsyrehalterna resp. 0,3; 0,5; 1,6; 0,4; 0,3; 2,5; 2,8 %. Alla dessa prov togos ungefär samtidigt, den 5 och den 9 augusti 1921. Stegringen av syrebrist och kolsyrehalt är som man ser ej så jämn, men gången är fullt tydlig. Det bör anmärkas, att provet 117, som redan högt uppe på sluttningen visade något högre syrebrist och kolsyrehalt än de närliggande, härstammar från en punkt, där marken vid tillfället var så vattenrik, att vatten kom med provet, vilket däremot ej var fallet med de andra proven från den torra marken. En annan sak, som jag vill fästa uppmärksamheten på, är skillnaden mellan prov 121 å ena sidan och proven 122—133 å den andra. De två första proven togos strax intill varandra, det första i en tuva av *Hylocomium proliferum*, det andra i en björnmossstuva. Det tredje provet togs i en björnmossstuva ett par meter ifrån de bägge andra. Alla tre härstamma från samma djup. Syrebristen och kolsyreöverskottet är som synes betydligt mindre i provet

från *proliferum*-tuva än i dem från björnmossstuvorna. Jag har en och annan gång tyckt mig märka, att variationen från fläck till fläck i den hotade zonen på detta sätt följer markbetäckningens beskaffenhet, så att betydligare värden syrebrist och kolsyreöverskott träffas förnämligast under björnmossstuvorna, däremot mindre under tuvorna av väggmossor (*Hylacomia*). Alltid håller detta dock visst icke streck.

De två sista proven från Kulbäckslidens försöksfält, 144—145, skall redogöras för i ett annat sammanhang (se nedan under M. Mossar).

Den följande serien av prov härstammar från en profillinje uppifrån den torra marken ned i den hotade zonen på en annan lokal liknande den förra, omkring 300 m från denna. Skogen är här lövblandad och betydligt bättre, med växtliga unggranar ända långt ned i början på sumpskogen. Den bild som analyserna ge är dock alldeles densamma som för den föregående lokalen. Det lägsta funna värdet av syrehalt, 0,4 %, är t. o. m. lägre än det lägsta från den förra lokalen. Den högsta kolsyrehalten är här liksom nyss ungefär 6 %. Här äro visserligen alla prov, i motsats till dem från den föregående lokalen, tagna under våtväder, men även denna lokal är våt också under torrväder. Om man granskar värdena från på varandra följande punkter utefter profillinjen liksom i föregående fall, finner man, att värdena på 15 cm djup (prov 130, 136, 132, 134, 138, 139, 141) äro i ordning: 20,4; 20,2; 19,6; 13,4; 3,4; 3,5; 19,6 % syre och 0,3; 0,2; 0,8; 3,0; 3,4; 2,7; 1,0 % kolsyra. Av dessa prov härstamma de tre första, som framgår av tab. XIII och lokalbeskrivning 2, från den torra marken, de fyra senare från den hotade zonen. Det sista provet visade endast obetydlig syrebrist och kolsyrehalt; på samma punkt 15 cm djupare var emellertid syrehalten endast 1 % och kolsyrehalten 3 %. Provet från 15 cm djup var torrt, det från 30 cm djup bestod av en liten luftblåsa, som kom tillsammans med mycket vatten vid sugningen. Jag ber läsaren lägga märke till anteckningarna om vatten med provet jämväl för de andra proven. Liksom förut gäller det, att de höga värdena av syrebrist uppträda endast i sådana prov, där vatten kom vid sugningen.

De sista proven inom denna grupp härstamma från Roklidens försöksfält i Norrbotten. Här visa siffrorna inga sådana värden av syrebrist och kolsyrehalt som kunna ställas i bredd med de största å de båda andra lokalerna funna. Den största funna syrebristen uppgår till 5,4 % (15,6 % syrehalt) och kolsyran når högst 2,8 %. Bägge värdena gälla ett avsevärt djup, 50 cm. Här sakna vi även några anmärkningar om vatten med provet; proven voro torra. Vad väderlekens karaktär under tiden för provsamlingen beträffar, så visa nederbördssiffrorna nästan fullständig torka under den gångna veckan och omkring

10 mm nederbörd för de gångna 14 dagarna. Samtidigt var emellertid marken i liden ovanligt våt. Orsaken till att marken å försöksfältet håller sig så torr får sökas i den utförda utdikningen av försöksfältet, vilken här i motsats till vad fallet är på Kulbäcksliden gjort skönjbar effekt.

Undersökningarna från hotade-försumpade marker ha alltså givit till resultat, att en högst betydlig, ända till nästan fullständig syrebrist kan förekomma i dessa marker redan på ringa djup, detta även under torr-vädersperioder. Syrebristen är dock ingalunda lika stark överallt, utan varierar från punkt till punkt inom mycket vida gränser, mycket mer än i den torra marken, från nästan fullständig syrebrist till nästan fullgod lufttillgång. Denna variation står framförallt i samband med vattenhalten i marken. Undersökningarna å Rokliden visa, att torr råhumus av björnmossa och vitmossa lika litet hindrar markluftningen som blåbärs- och skogsmossråhumus. Då emellertid dessa marker normalt hålla sig fuktiga, måste en högst betydlig syrebrist på talrika punkter vara det normala förhållandet. För dessa marker ligger det alltså högst sannolikt en verklighet bakom den i skogslitteraturen ofta uttryckta föreställningen, att det svällande mosstäcket kväver trädrötterna.

D. Tallskogar.

Nästan alla prov härstamma från tallhedar i övre Norrland. Endast det första provet, nr 28, stammar från en mossrik tallskog. Det visade förstklassig markluftning. Marken var torr.

Den följande serien av prov, 151—159, togs å en av Skogsförsöksanstaltens provytor å tallhed, krp. Åheden nära Vindeln, Västerbotten (se vidare lokalbeskrivning 12). Proven togos under en våtvädersperiod, men icke dess mindre visa samtliga prov en syrehalt av omkring $20\frac{1}{2}\%$ eller däröver och en kolsyrehalt av högst $0,2\%$, detta ända ned till 75 cm djup. Markluftningen är alltså förstklassig. Intet vatten kom med proven. Alldeles likartat resultat visa två prov, 160 och 161, från en tallhed å mjälsand i närheten (lokalbeskrivning 13). Proven togos samma dag som de föregående, alltså under en våtperiod; intet vatten kom med proven.

De övriga analyserna stamma från Norrbotten. De första tre av dessa togos på tallheden vid Fagerheden, lokalbeskrivning 14. Markluftningen visade sig även här utmärkt, syrehalten var omkring $20\frac{1}{2}\%$ eller däröver och kolsyrehalten 0 till $0,3\%$. Ej heller det sista provet, som togs på stort djup (75 cm) nere i hård ortsten, faller utanför denna ram. Ortstenens inflytande på markluftningen skall härnedan diskuteras i ett sammanhang.

De sista fyra proven, 164—167, härstamma från tallhed på morän

vid Långträsk, lokalbeskrivning 16. Syrehalten är en hårsman lägre än i de förra proven, mellan omkring 20 och $20\frac{1}{2}$ %, och kolsyrehalten varierar mellan 0,1 och 0,7 %. Luftningen är alltså i alla händelser mycket god. Proven togos under en tämligen våt period, men intet vatten kom med proven.

Undersökningarna i tallhedar ha alltså visat, att markluftningen även under våtperioder är så god som man kan önska sig. Det hade även enligt vår utredning över kap. 7—8 varit synnerligen överraskande, om markluftningen varit skral i dessa särdeles torra sandmarker. De faktiska resultaten av analyserna stämma däremot mycket bra med vad man har att vänta sig enligt den givna utredningen. Att siffrorna för syrebrist och kolsyrehalt i de flesta fall äro så exceptionellt låga får väl sättas i samband med den efter allt att döma mycket långsamma omsättningen i dessa lågproduktiva marker.

E. Ortstensmarker.

GRÄBNER (1921, p. 213—214) anser ortstenens kända inverkan på utbildningen av trädens rotsystem delvis som en markluftningsfråga. Han har iakttagit, att rötterna böja av horisontalt, redan innan de komma ned i ett ortstensskikt, som är så pass hårt, att det rent mekaniskt borde kunna åstadkomma denna effekt, och han tror därför, att ortstenen »för sin oxidation förbrukar nästan den sista resten av syre, som kommer dit ned». Det hade med anledning därav sitt intresse att undersöka hur stor syrehalten är i markluften i och under skenhälla och eräll*.

Undersökningarna avse dels en lokal med mäktig skenhälla vid Rosinedal nära Vindeln i Västerbotten (se lokalbeskrivning 16 och TAMM 1920), dels en del av heden vid Fagerheden, vidare en lokal med synnerligen mäktig skenhälla nära föregående (se karta och beskrivning hos TAMM 1920, p. 217—221), ännu en liknande lokal i närheten och slutligen morän med humuseräll under granskog å Roklidens försöksfält.

Tagningen av proven måste, när det var fråga om riktig, hård skenhälla, göras på ett annat sätt än det vanliga. Jag gjorde så att jag med hjälp av en hantlangare drev ner en stenborr till det önskade djupet, varvid hela tiden arbetades i en tjock lervälling av lämplig konsistens. När borren drogs upp, slöt sig genast lervällingen efter den,

* Jag har tagit mig friheten använda de inhemska orden skenhälla och eräll för ortsten. Jag använder orden alldeles som jag hört dem användas i Norrbotten, d. v. s. skenhälla = stenhård, eräll = lösare ortsten. Möjligen vore det lämpligt, om orden skola tagas upp till allmänt bruk, att precisera betydelsen och t. ex. låta skenhälla betyda alloktion eräll autokton ortsten.

och jordsonden fördes ned genom det med lervälling fyllda borrhålet och drevs ned ytterligare från några cm till en dm med en träklubba. På så sätt kunde jag vara säker, att det tagna luftprovet verkligen härstammade från det avsedda djupet, trots det marken sårats med stenborren. Vid sugningen kom städse lätt och ledigt endast luft, vilket visade att tätningen var god kring sonden, då intet vatten från den några cm ovanför stående lervällingen kunde komma ned till sondens nedre mynning.

Proven togos samtliga på tämligen stort djup, från 45 cm till 95 cm, och dels under, dels inuti själva skenhällan.

Om vi tills vidare bortse från humuserällen, visa analysiffrorna genomgående mycket god syretillgång ännu nere på stora djup både i och under skenhällan. Syrehalten varierar mellan ungefär $19\frac{1}{2}$ och $20\frac{1}{2}$ %, kolsyrehalten mellan 0,3 och något över 1 %. Dessa siffror visa, att för de former av skenhälla det här är fråga om GRÄBNERS uppfattning om den kraftiga oxidation däri ej kan vara riktig. Däremot visa de intet om diffusionshastigheten i skenhällan. Om ingen oxidation sker kan naturligtvis syrehalten vara mycket hög även om diffusionshastigheten är obetydlig. Att döma av att sugningen gick så lätt torde emellertid skenhällan vara rätt grovporig (jämför den ovan anmärkta omöjligheten att suga i lera!) och man har därför anledning anta, att diffusionshastigheten skall vara normal.

De sista två proven 178—179 härstamma från den hotade zonen å Roklidens försöksfält och ha medtagits här därför att moränen å punkterna i fråga var erällsartad. Här var syrehalten resp. 15,6 och 17,9, kolsyrehalten 2,8 och 1,1 %. Som redan ovan anförts under C, där även redogjorts för dessa prov, var marken torr, och den avsevärda skillnaden mellan syre- och kolsyrehalterna i dessa bägge prov och motsvarande från 15 cm djup (prov 196—195, se under C, syrehalt 19,6 och 19,9, kolsyrehalt 0,9 och 0,8 %) tyder därför på, att en avsevärd oxidation verkligen sker nere i moränen. Det är här fråga om en humuseräll; om, som väl antagligen är fallet, det är humusortsten som GRÄBNER avser med sitt ovan anförda uttalande, motsäga alltså mina analyser ej alldeles den möjligheten, att det kan ligga en sanning bakom hans uppfattning.

F. Dåliga ljunghedar.

Mina analyser från ljunghed härstamma nästan uteslutande från Vallåsens krp. på Hallandsås. Undersökningarna utfördes dels i juni, dels i september 1921. Vid det första tillfället var marken torrare än vid det senare och torde även ha varit torrare än normalt, då både april,

maj och juni voro torrare än normalt i Halmstad. Ett regn om ungefär 15 mm hade dock kommit den 28 maj, några dagar till ungefär en vecka före provtagningen (jfr nederbördssiffrorna tab. XIV). Vid provtagningen i september kunde direkt iakttagas, att marken var våtare än i juni. Nederbörden för den närmast föregående veckan var visserligen för de flesta provtagningsdagarna obetydlig, men augusti var i Halmstad 30 % regnrikare än normalt, vilket ej vill säga så litet (jfr tab. XIV), och proven togos i början av september. Fuktigheten i marken vid den senare undersökningsperioden torde ha varit avgjort över genomsnittet för vegetationsperioden, om man än ej kan säga, att den representerade något maximivärde.

Den första undersökta lokalen är en liten ljunghedsbacke invid (nedom) en mosse, se lokalbeskrivning 19. Ytterst dåliga, gula små granar, några dm vid 35 år. Kraftig ljungråhumus. I juniproven varierade syrehalten på 25 cm djup ungefär mellan 18 och $20\frac{1}{2}$ %, kolsyrehalten mellan 0,3 och något över 2 %; på större djup träffades väsentligt olika sammansättning, sålunda i ett prov från 75 cm djup 13,7 % syre och 3,7 % kolsyra. Av tre prov från samma fläckar i september (prov 235—237), alla från 30 cm djup, ha två visat en högst betydlig syrebrist med 4—9 % syre och 5—4 % kolsyra. Det tredje provet visade ungefär 17 % syre och $2\frac{1}{2}$ % kolsyra. Vid tagningen av prov 237 med endast 4 % syre kom något svart vatten eller snarare välling med provet. Eljest intet vatten med proven.

Två prov (72—73) från samma lokal, en bit ifrån de förra punkterna, med bra unggranar, visade i juni över 20 % syre och ej upp till 1 % kolsyra.

Nästa undersökta lokal (lokalbeskrivning 20) är en Skogsförsöksanstaltens provyta å dålig ljunghed i närheten av den förra lokalen. Granarna äro för det mesta dåliga, gula, ej meterhög vid 35 år, men på några ställen förekomma grupper med bra unggranar. Dessa äro, som ofta är förhållandet (benäget meddelande av prof. SCHOTTE) i allmänhet, dock ej fullt genomgående, uppvuxna invid eller omkring nu borttagna tallar eller björkar. I juni togos endast tre prov, vilka alla (prov 69—71, djup 25—50 cm) visade god luftning med 20 till $20\frac{1}{2}$ % syre och under 1 % kolsyra. I september togos prov på djup från 15 till 60 cm, vilka visade syrehalter från $20\frac{1}{2}$ ned till 18,4 %, kolsyrehalter från någon tiondedels till 1,8 %. Luftningen var sålunda även i september å alla undersökta punkter god, även å områdena med dålig gran, och det är anmärkningsvärt, att de lägsta värdena av syrehalt, de högsta av kolsyrehalt, på såväl 15 som 60 cm djup träffades just i en grupp med bra granar. Marken var åtminstone fläckvis på större djup betydligt

vattenrik, som framgår av anmärkningarna. På en punkt kom vid sugning från 60 cm djup endast vatten, på en annan vatten och luft. Det är även anmärkningsvärt att detta senare prov visade helt normal syre- och kolsyrehalt; oxidationen är alltså mycket obetydlig på större djup.

Nästa undersökta lokal är en sluttning med ljung, klockljung och genomgående usel gran, gul och ej högre än ljungen (lokalbeskrivning 21). Prov togos endast i september. Här skilja sig värdena av syrehalten för prov från 15 och prov från 60 cm djup skarpt från varandra. De förra visade syrehalter varierande mellan $17\frac{1}{2}$ och över 20 %, de senare mellan 9 och 18 %; kolsyrehalten varierade för bägge djupen ungefär likadant, mellan ungefär $\frac{1}{2}$ och 2 %. De lägsta syrehalterna träffades i prov, där vatten kom vid sugningen. Marken var vattenrikare än på förra stället. På en punkt kom redan å 45 cm djup endast vatten, och vid samtliga prov från 60 cm djup finnes anteckning, att vatten kom med provet. En för luftningen hinderlig vattenrikedom i marken sträckte sig tydligen å denna lokal upp till en nivå i marken, där ännu en avsevärd oxidation sker. Därav den stora skillnaden mellan djup- och ytvärdena å denna lokal i motsats mot den föregående.

Nästa lokal (prov 227—234) är en bergtallplanterad lavrik ljunghed med enstaka enbuskar i sluttning å Vallåsen (lokalbeskrivning 23). Värdena av syre- och kolsyrehalt äro mycket jämna, 20 och ett par tiondedels % syre och ett par tiondedels % kolsyra å samtliga undersökta punkter, såväl å 15 som å 60 cm djup. Proven voro samtliga torra. Vatten visade sig ingenstädes.

De sista två proven härstamma från en ljunghed med dålig självsådd tall och gran i Västergötland nära Hallandsgränsen. Proven, som togos i juli, visade god markluftning å 30 cm djup.

Undersökningarna å dåliga, svårkultiverade ljunghedar ha alltså givit vid handen, att även en mäktig ljungråhumus i torrt tillstånd lika litet som den norrländska moss-blåbärsråhumusen utgör något hinder för en god markluftning. I fuktigt tillstånd däremot är den det alldeles givet, och det vill synas som om det skulle behövas en mindre vattenhalt i ljungråhumusen än i råhumusen i den norrländska granskogen för att syrebristen skall uppnå betänkliga belopp. Flera av proven inom denna grupp visa (jämför tabellen) betydligt till högst avsevärd syrebrist utan att anteckning finnes, att vatten kommit med provet vid sugningen.

G. Lyckade ljunghedsplanteringar.

De undersökta lokalerna ligga till största delen på Vallåsens kronopark å Hallandsås. Ett par prov härstamma från den högproduktiva kulturgran-

skogen Dalby krp. i Skåne å gammal ljunghedsmark. Lokalerna å Vallåsen undersöktes under september (ett enstaka prov togs i juni), Dalby krp. i juli.

(Prov 220—226) stamma från en lyckad 31-årig granplantering, nu tät granskog, å god ljunghedsmark å Vallåsen. Syrehalten är här på djupet i allmänhet en hårsman mindre, kolsyrehalten större än å lokal 23 strax intill. Syrehalten å 15 cm djup är 20 och några tiondedels %, kolsyrehalten ungefär $\frac{1}{2}$ %; å 55—60 cm djup ligga syrehalterna mellan 19 och 20 %, kolsyrehalten varierar omkring 1 %. Proven togos samma dag som proven från nyssnämnda lokal. Alla prov voro torra och vatten visade sig ingenstädes.

Prov 64 är ett enstaka prov från en liknande ungefär lika gammal kulturgranskog å Vallåsen. Provet, som togs i juni, visade å 25 cm djup 20,7 % syre och 0,4 % kolsyra. Marken torr, provet torrt.

De sista tre proven härstamma från Dalby krp., en tät kulturgranskog liksom de förra lokalerna, på bättre mark och med hög produktion. Proven visade å 30 till 50 cm djup över 20 $\frac{1}{2}$ % syre och högst 0,3 % kolsyra. Marken mycket torr, provet torrt.

Undersökningarna i goda ljunghedsmarker, d. v. s. kulturgranskogar å dylika marker ha alltså även under samma tidsperiod, då i närheten på vissa dåliga ljunghedsmarker stark syrebrist rådde i marken, visat förstklassig luftning. En annan skillnad mellan de undersökta välluftade ljunghedsmarkerna och sådana dåliga, där syrebrist visade sig, är att marken i de förra var torr ända till 60 cm djup, i de senare våt, så att vatten visade sig vid sugning å några dm djup. Det är således som vanligt vattenhalten, som synes vara avgörande.

H. Råhumusbokskogar.

De undersökta lokalerna ligga dels på krp. Vallåsen, dels på Hallands Väderö. Proven från de förra lokalerna togos dels i juni, dels i september, proven från Väderön i juli.

Den första lokalen är ett dåligt, i topparna torkande bokbestånd med synnerligen kraftig bokråhumus och markbetäckning av mest blåbär. Jag bad kronojägaren på platsen att visa mig till det torvigasté och mest svårförnygrade bokbestånd han hade, och då visade han mig till lokalen i fråga. Närmare beskrivning av platsen, se lokalbeskrivning 27. De fyra proven (65—68) från juni visa såväl å 25 som 55—70 cm djup syrehalter som ligga mellan 20 och 21 %, kolsyrehalter upp till ungefär $\frac{1}{2}$ %. Proven från september å alldeles samma ställe (239—243) visa å 15 cm djup syrehalter omkring 20 %, kolsyrehalter som ligga mellan $\frac{1}{2}$ och 1 %. Å 55—60 cm djup var syrehalten något över 19 %, kolsyrehalten något över 1 %. Alla proven voro torra.

De följande åtta proven härstamma från råhumusbokskogar på Hallands Väderö med mindre tjock råhumus. Proven togos under synnerligen stark torka och visade på 15 till 45 cm djup syrehalter som ligga mellan 20 och 21 %, i allmänhet närmare den senare siffran, och kolsyrehalter om ett par tiondedels procent.

Ett enstaka prov från bättre bokskog med mycket tunn råhumus å Vallåsen visade i september å 60 cm djup något under 20 % syre och nära 1 % kolsyra. Provet var torrt.

Undersökningarna i bokskogar med råhumus visa sålunda, att även i mycket torvig mark markluftningen var god till och med under en ganska fuktig period, och att i varje fall bokråhumusen i och för sig lika litet som de andra råhumusslag, som vi förut haft att göra med, är något hinder för en god markluftning. Därvid är att märka, att undersökningarna omfatta en lokal med ett par dm mäktig bokråhumus av sämsta sort, bladig och seg, alltså med det värsta i den vägen, som någon bokmark i Sverige har att uppvisa. I och under dylik bokråhumus, som är betydligt tätare än blåbärs-moss-råhumus och gör intryck av att vara ganska finporig, hade man möjligen kunnat vänta en avsevärd syrebrist, men analyserna gävo som sagt ett annat resultat.

I. Lövskogar med mull.

De flesta undersökta lokaler ligga i Skåne, en på Vallåsen.

De första 3 proven härstamma från lövängs-lundartade samhällen å Hallands Väderö. De togos under stark torka och visade syrehalter å 12—20 cm djup som ligga mellan 20 $\frac{1}{2}$ och 21 %, kolsyrehalter upp till $\frac{1}{2}$ %.

Proven 90—93 samt 99 togos i den bekanta Dalby hage invid Dalby i Skåne. Syrehalten låg å djup mellan 20 och 30 cm omkring 20 $\frac{1}{2}$ %, kolsyrehalten omkring $\frac{1}{2}$ %. Marken var mycket torr.

Likadana värden visa två prov från bokskog av bästa typ (med ramslök och skogsbingel) vid Övedskloster. Svår torka rådde i marken vid tillfället, vilket man kanske ej skulle vänta sig av nederbördssiffrorna. Skogsbingeln stod och slokade av torkan och boklöv föllo i förtid.

De två proven från bättre, mullartad mark å Vallåsen (217—218) visade å 55—60 cm djup i september 20 och ett par tiondedels % syre, bortåt $\frac{1}{2}$ % kolsyra.

Undersökningarna i lövskogar med mull kommo olyckligtvis att utföras under en period med utpräglad torka. Det egentliga intresset med värdena skulle legat i en jämförelse med motsvarande värden från marker med råhumus. En dylik jämförelse är möjlig med junivärdena från den torviga bokskogen å Vallåsen och visar att värdena överensstämmer,

i det luftningen i bägge fallen är utmärkt. Intressantare hade emellertid en jämförelse av värdena under våtväder i de båda slagen av marker varit. Tyvärr medhanns ej att besöka några utpräglade mullmarker under septemberresan, och mina siffror lämna därför ingen upplysning om maximibeloppen av syrebrist och kolsyreöverskott i lövskogsmarker med mull.

K. Lövkärr.

Hit ha förts två lokaler som knappt ha något annat gemensamt än namnet. Den första är ett lövkärr vid en liten bäck i Västerbotten (lokalbeskrivning 34). Marken är lera. De två proven visade på 10 och 20 cm djup syrehalter över $20\frac{1}{2}$ % och nästan ingen kolsyra. Observera emellertid anmärkningen i tabellen, att på en punkt å 20 och 15 cm djup det ej gick att suga någon luft ur leran.

Den andra lokalen är ett alkärr å Hallands Väderö med djup kärrmylla. Provet togs under stark torka, och kärret var så torrt som det ej någonsin brukar vara. Där normalt vatten brukar stå upp i ytan kunde man gå alldeles torrskodd med segelskor, och vatten träffades först på 60 cm djup. Luften i kärrmullen visade på 15 cm djup en syrehalt av nära 21 % och ett par tiondedels % kolsyra, på 30 cm något under 20 % syre och 1 % kolsyra, på 45 cm 16 % syre och 2 % kolsyra. Dessa värden äro alltså att betrakta som minimivärden för årstiden av syrebrist och kolsyrehalt, och det är att antaga, att under normala förhållanden betydlig syrebrist råder i kärrmullen. Syrgashalten i vattnet i danska alskogar och alkärr har undersökts av BORNEBUSCH (1914), som i intet fall annat än i ytvattnet i gölar fann mer O_2 än omkring 10 % (max. 14 %) av det värde som svarar mot full mättnings. En markluft i jämvikt med sådant vatten skulle ha en syrehalt av endast omkring 2 %.

L. Lerbränna.

De två proven visa å 10 till 15 cm djup en syrehalt mellan 20 och $20\frac{1}{2}$ % syre och en kolsyrehalt mellan 0 och 1 %. Observera emellertid anmärkningen i tabellen, att på två andra ställen det ej gick att suga några luftprov ur leran. Analyserna ge alltså ingen upplysning om syretillgången i leran, utan visa endast att denna på vissa ställen är sprickig och att i dessa sprickor står luft med nästan atmosfärens syrehalt. Det iakttoogs, att rötter gingo i dessa sprickor, vilket med en viss sannolikhet synes mig tyda på att sprickorna äro åtminstone relativt permanenta och ej blott tillfälliga. Vi återkomma till en diskussion av förhållandena i lermarker i följande kapitel

Att jag ej fortsatte undersökningarna å lerbrännor beror på att den använda metodiken ej tillåter en bedömning av luftens sammansättning inuti leran. Är leran sammanhängande, kunna ju nämligen som nämnt inga luftprov fås. Och att leran på många ställen är sprickig behöver ej konstateras genom gasanalys; det är bekvämare att direkt iakttaga. Någon metod som skulle kunna användas för att bestämma sammansättningen av luften inuti den kompakta leran finnes såvitt jag vet ej.

M. Mossar.

Proven från mossar äro även fåtaliga och tagna mer i förbigående. Liksom i fråga om lermarkerna gäller det nämligen om mossarna, att den använda metodiken ej är särdeles lämplig att ge upplysning om förhållandena. I motsats till vad fallet är med lermarker, finnes det däremot en metod för undersökning av syretillgången i mossarna, som är lämplig och god, nämligen vattenanalys enligt WINKLER. Dylika undersökningar ha utförts av HESSELMAN (1910) och i stor utsträckning av MALMSTRÖM (1922), vars arbete gjorde det onödigt för mig att mer ingående syssla med luftningen i mossar. Mina fåtaliga bestämmingar ge emellertid ett par intressanta upplysningar.

Vi fästa oss först vid de sex första proven i tab. XIII M. De härstamma från Degerö stormyr i Västerbotten. Som man ser, visa analyserna överraskande nog samt och synnerligen syrehalter, som ligga mellan 20 och 21 %, utom i ett fall, då siffran var 19,6 %, och kol-syrehalten går endast i ett fall upp till 2 %, håller sig f. ö. nära 0. Därvid är att lägga märke till att mosstorven var vattenrik, så att vatten kom vid sugningen, antingen med proven eller på samma djup som proven togos, strax intill. Detta resultat står i ett egendomligt motsatsförhållande till vad vi förut funnit. Därtill veta vi, att vattnet i torven normalt är mycket syrefattigt (se MALMSTRÖM 1922). Hur skall detta då förklaras? Enligt min mening på följande sätt. Vitmossförnan (sensu MALMSTRÖM 1922) och den oförmultnade *fuscum*- etc. torven har en annan textur än t. ex. vanlig råhumus. Dels är den betydligt grovporigare än råhumusen. Vidare är förnan, som här huvudsakligen kommer i fråga, bildad av basalrester av vitmossindivid, som ha kvar sin lodräta huvudriktning. Detta gör, att det ej så lätt uppstår en så intim blandning av luft och vatten som i våt råhumus. Det bildas ej så lätt fullständigt eller så gott som fullständigt av vatten avstängda luftblåsor, utan luftrummen ha snarare formen av lodräta kanaler, som upptill stå i förbindelse med luften. I dessa kanaler kan det därför ske ett diffusionsutbyte med luften av normal livlighet. Nere i det syrefria grundvatt-

net åter saknas alldeles luftblåsor, och den där förefintliga höggradiga syrebristen kan därför ej konstateras genom gasanalys av uppsugna prov.

Mina siffror visa i varje fall, att i naturliga mossar, där grundvattnet är praktiskt taget syrefritt, likväl på nivåer ovan grundvattensnivån syretillgången på talrika punkter är utmärkt god. I de undersökta mossarna bestod marken ovan grundvattensnivån uteslutande av oförmultnad torv. Huruvida en förmultnad torv förhåller sig på samma sätt, därom lämna mina analyser ingen upplysning. Det är sannolikt, att så ej alltid är förhållandet. Det synes mig troligt, att i analogi med förhållandena i den hotade granskogens och ljunghedarnas råhumus markluftningen kan vara dålig i den multnande torven i en dränerad mosse även ett stycke ovanför grundvattensnivån. VAGELERS undersökningar i diverse kultiverade mossmarker visade i genomsnitt god luftning å 15 cm djup, men syrehalten kunde dock redan å detta djup gå ned till omkring 11 % (se tab. I, p. [180]—[181]).

Man får ej heller av mina analys-siffror dra den slutsatsen, att syretillgången ovan grundvattensnivån i den naturliga mossen på alla punkter skulle vara god. Syretillgången i vattnet i de fullsupna vitmossresterna kan mycket väl vara minimal samtidigt som syretillgången i luftkanalerna är utmärkt. En stillastående vattenyta upptar nämligen syre ur luften mycket långsamt (jfr HESSELMAN 1910, p. 100, noten) och diffusionshastigheten i vattnet är som ovan anført endast 1/10 000 av den i luften. Syretillförseln till det inre av vattenmassorna begränsas följaktligen av lösningshastigheten i vätskefasens ytlager och av diffusionshastigheten i vattnet, ej av diffusionshastigheten i luftkanalerna.

Proven 143—146 härstamma från morän under ett mäktigt torvlager, bildat dels i gransumpskog, dels i tallrismosse. Läget av provpunkterna är utmärkt på kartan fig. 11. Torvens mäktighet är angiven i tabellen; den varierade mellan 0,7 och omkring 1 m. Dessa prov togos i samband med undersökningar av doc. TAMM, varvid det visade sig, att moränen under den vattenmättade torven var förvånande torr. Vissa drag i moränens utseende tydde på oxidation och analyserna företogs för att få upplysning om ifall syre fanns närvarande. Det visade sig, att luftprov kunde fås på några ställen ur moränen och tvärt emot vad man kunnat vänta visade de ingalunda fullständig syrebrist.

Innan jag ingår på en diskussion av siffrorna vill jag något redogöra för hur proven togos. Det första provet, 143, togs i den osårade mossen så att jordsonden som vanligt kördes ned tills den kommit 10 cm ned i moränen (= 80 cm under markytan). De övriga proven togos under än mäktigare torv, så att sondens längd ej räckte till att nå moränen uppifrån. Proven togos därför från bottnen av doc. TAMMS gro-

par. Därvid kördes sonden till hela sin längd (80 cm) ned eller snett in i moränen och då dessutom sonden fördes in genom ett lager torv eller vatten är det absolut säkert, att luften verkligen härstammade från moränen och ej från atmosfären. Att luft fanns i moränen kunde direkt iakttagas, då små luftbubblor stego upp genom vattnet som samlade sig i bottnen på groparna.

Analyserna visade som framgår av siffrorna i tabellen syrehalter mellan ungefär 7 och 14 % och kolsyrehalter mellan något under 1 och bortåt 4 %. Det är alltså ej tal om någon fullständig syrebrist. Detta var ett lika intressant som överraskande resultat, då syrebristen i det märkliga genomblöta torvlagret måste ha varit fullständig (jfr HESSELMAN 1910 och MALMSTRÖM 1922). Att så är förhållandet visas tämligen säkert redan av det sedan gammalt bekanta förhållandet, att när man tar upp en grop i torven, denna först har en ljusare färg, som emellertid nästan ögonblickligt börjar märkbart mörkna, så att den för luften utsatta torvytan redan efter en kort stund är alldeles svart. Mina egna luftanalyser från den hotade zonen eller början av sumpskogen visa ju även, att redan ovan nivån för det sammanhängande vattnet i torven syrehalten går ned till någon enda procent eller bråkdelar av en procent.

Den påfallande stora syrerikedomen i moränen under mäktig torv med syrefritt vatten har väl ej något egentligt intresse ur ekologisk synpunkt men är en ganska intressant upplysning ur andra synpunkter. Den synes nämligen visa att någon avsevärd transport nedåt av vatten från torven ned i moränen ej kan äga rum (åtminstone ej under sommaren). Den syrefattiga torven innehåller som nämnt lättoxidabla ämnen, som genast oxideras vid lufttillträde. Skulle dessa ämnen transporteras ned i moränen, måste följaktligen en syreförbrukning där äga rum. Nu är det ju möjligt att dessa ämnen ej äro vattenlösliga eller att de äro grovkorniga kolloider, som till större delen kvarhållas av torven eller det allra översta moränskiktet. Emellertid är vattnet i torven som sagt syrefritt, och om vattnet i moränen utgöres av vatten som passerat genom torven och berövats sitt syre, så bör dock luften i moränen sätta sig i jämvikt med detta vatten och sålunda bli mycket syrefattigt, även om några reducerande ämnen ej följa med vattnet nedåt. Det är att märka, att vattnet dock utgör huvudparten, luften mindreparten av innehållet i moränen. Nu måste å andra sidan syretillförseln till de punkter det är fråga om vara ytterligt försvårad. Uppifrån kan intet syre komma. Det måste komma genom diffusion från sidan eller genom transport med grundvattnet i moränen sidledes. Det minsta transportavståndet kan man även med hjälp av kartan fig. 11 och dess fortsättning angiva. Det ut-

gör för alla punkterna ungefär 30 meter (räknat till den närmsta punkt, där sumpskogen upphör och den hotade zonen tar vid). Punkterna i fråga äro alltså i luftningshänseende ungefär lika gynnsamt eller lika ogynnsamt ställda som jordlager på 30 m djup.

Det sista provet, 238, inom avdelningen mossar är ett enstaka prov från mossen invid den första lokalen under dåliga ljunghedar. Det gick ej att få prov från djupare nivåer än 15 cm i en tuva med ljung och blåtåtel; här var syrehalten nära 18 % och kolsyrehalten nära 3 %. Siffrorna peka i samma riktning som de ovan anförda från Degerö stormyr; dock är ju här någon syrebrist förhänden.

N. Gräsmark.

Några enstaka prov från gräsmarker i Västerbotten, tagna till jämförelse, ha visat syrehalter å 15 till 45 cm djup av 19 % eller något mer, kolsyrehalter av ungefär $1\frac{1}{2}$ %.

O. Åkrar.

Likaledes till jämförelse ha några enstaka prov tagits från åkrar i Västerbotten. Ett prov från ett potatisland under torrväder visade $20\frac{1}{2}$ % syre och nästan ingen kolsyra å 15 cm djup. Två prov från en havreåker under våtväder visade syrehalter av drygt $19\frac{1}{2}$ % och kolsyrehalter av närmare 1 %, detta för såväl 15 som 45 cm djup.

Sammanfattning.

Undersökningarna ha visat, att samtliga undersökta slag av råhumus (husmoss-blåbärs-råhumus och björnmoss-vitmoss-råhumus i övre Norrland, ljungråhumus och bokråhumus i södra Sverige) i och för sig ej orsaka någon dålig markluftning. I blöt råhumus kan däremot, liksom helt allmänt är förhållandet i våt mark där aktivitet råder, luftningen vara mycket dålig.

Bäst studerade äro förhållandena i råhumusmarker i övre Norrland. Undersökningarna där ha visat, att å normalt dränerad moränmark även under våtperioder markluftningen synes fullt tillfredsställande. I s. k. hotad mark och i sumpskog är däremot markluftningen även under torrperioder på talrika punkter mycket dålig. Redan på ringa djup (t. ex. 15 cm) kunna så låga syrehalter som under 1 % träffas.

I tallhedar har markluftningen befunnits vara synnerligen god.

I starkt råhumusbesvärad bokskog å Hallandsås var markluftningen även under en ganska fuktig period god.

I dåliga svårkultiverade ljunghedar befanns markluftningen ibland god eller ganska god, ibland dålig, dock endast på något större djup. Olika-heterna stodo som vanligt i tydligt samband med vattenhalten i marken.

I goda skogsodlade ljunghedar befanns luftningen genomgående god.

Mossar och lermarker kunna ej rätt väl undersökas med den använda metodiken. Resultaten säga därför endast, att i naturliga mossmarker luftningen ovan grundvattensnivån på talrika punkter kan vara god, fastän grundvattnet är syrefritt eller nästan syrefritt, samt för lermarker att den luft som står i sprickorna i leran kan ha nästan atmosfärens sammansättning. Om sammansättningen av luften inuti den kompakta leran kunna analyserna ej ge någon upplysning.

En sammanträngd överblick över siffrorna för syrehalten i råhumusmarkerna i övre Norrland, i tallhedarna och i ljunghedarna ger följande tabell, där för jämförlighetens skull endast prov från 10—20 cm djup (i allmänhet 15 cm djup) äro medtagna. Siffrorna betyda antal prov, som visat respektive syrehalter.

Antal prov med } Anzahl Proben mit } Lokaler	0	1	11—12—13—14				15—16—17—18—19—20					20 eller mer oder mehr % O ₂
A. Torra granskogar {1920	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	6	
{1921	—	—	—	—	—	—	—	—	1	4	6	
B. Skog i lider, örter {1920	—	—	—	—	—	1	—	—	1	2	8	
{1921	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	7	
C. Hotad o. försumpad {1920	1	—	1	1	—	1	1	—	1	—	1	
granskog {1921	—	2	—	—	1	1	1	—	—	4	1	
D. Tallhedar 1921	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	
F. Dålig ljunghed, sept. ...	—	—	—	—	—	—	—	1	1	5	7	
G. God ljunghed, sept.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	

Proven 1921 äro tagna under en fuktig, proven 1920 under en torrare period. Proven från ljunghedar härstamma alla från en tämligen fuktig period. Prov från bokråhumusmark äro ej medtagna i översikten, då antalet prov från mindre djup är för litet. De siffror, som visa större syrebrist i ljunghedar ha ej kommit med i översikten, därför att som sagt denna uppträdde endast på något större djup.

KAP. 15. Skogsekologisk diskussion av analysresultaten.

Av vad som ovan anförts, särskilt i kap. 9, torde tillfyllest framgå, hur svår en ekologisk tolkning av analysresultaten måste ställa sig. Till de principiella svårigheter som framgå av framställningen i det citerade kapitlet och som bero av vår brist på exakt och direkt kunskap om den fysiologiska inverkan av olika värden av syrebrist och kolsyreöverskott i marken på skogsträdens och andra oss intresserande växters livsfunktioner sällar sig det osäkerhetsmoment som ligger i siffermaterialens karaktär av blott stickprov (jfr kap. 11). Även om mina analyser representerade fullständiga årsserier och vore hur fullständiga som helst med avseende på urvalet av de lokaler som de representera, så kvarstode dock alltid den förstnämnda gruppen av svårigheter. Det enda sättet att trots allt komma fram till några slutsatser är att använda en jämförande indiciemetod. Detta är f. ö. hittills i praktiken i stort sett ekologiens arbetssätt och kommer säkert av praktiska skäl åtminstone en lång tid framåt att så förbliva, trots det alla på så sätt dragna slutsatser principiellt lida av en viss osäkerhet. Min syn på dessa saker har jag framlagt i en särskild liten uppsats, till vilken må hänvisas (ROMELL 1920).

Diskussionen må för överskådlighetens skull fördelas på några underavdelningar.

1. Råhumusmarker i Norrland.

Vi erinra oss från föregående kapitel, att analyserna från torra råhumusmarker i Norrland till alldeles övervägande del gävo värden av syrebrist, som höllo sig under eller omkring någon enda procent, detta för såväl råhumusbesvärade som bättre marker. Under utpräglat våtväder voro värdena större än under torrväder, men syrebristen höll sig likväl i regel vid ett mycket lågt belopp och uppgick i den torra råhumusmarken endast i två analyser till mellan 4 och 5 %. Dessa värden liksom de övriga vid samma tid funna med mindre syrebrist torde på förut (kap. 13) anförda grunder vara att i någon mån betrakta som maximivärden för markerna i fråga, och variationen synes som anført i kap. 14 A ligga inom ungefär samma gränser som den i åkerjord. Av allt som är känt torde det ej finnas någon anledning att antaga, att variationer inom denna ram — åtminstone om man undantar de två extrema värdena, jfr tab. IX — ha någon ekologisk betydelse ens för mycket syrekrävande organismer. Att skogen växer så mycket sämre på vissa av dessa råhumusmarker än på andra får därför med all säker-

het hänföras till andra orsaker, såsom dålig omsättning i marken, särskilt svag produktion av lämpliga kväveföreningar (jämför HESSELMANS bekanta studier). Ej heller genom förmedling av dylika omsättningsprocesser i marken kunna gärna de små variationerna i syretillgång ha någon inverkan på skogen. Jag erinrar om SCHLÖSINGS (1873) förut anförda försök med nitrifikation i jord vid olika syretillgång; någon säker ändring i nitrifikationens intensitet kunde därvid ej påvisas förrän syrehalten nedsattes till 6 %. Vid 16 och 11 % syrehalt i luften var nitrifikationen i en försöksserie nedsatt, i en annan oförändrad eller ökad, utslaget alltså intet. Det är att märka, att dessa försök voro långvariga (flera månader), och att nitrifikationen är en utpräglad syrekrävande process.

Inom gruppen skog i lider med rikligare örter påträffades å en lokal ännu något större syrebrist än de största inom gruppen torra råhumusgranskogar, och under torrare väder. Å denna lokal är visserligen skogen dålig, men detta torde bero på andra orsaker än markfaktorer (jfr föregående kapitel, under B). Här är råhumusen betydligt mullartad, markvegetationen rik och humustäckets tillstånd enligt HESSELMANS undersökningar (opublicerade) bättre än i de torra råhumusbesvärade markerna (svagare sur reaktion, starkare ammoniakavspjälkning). För övrigt äro värdena av syrebrist även inom denna grupp genomgående låga.

De stora och skogsekologiskt ytterst betydelsefulla skillnader i humustäckets tillstånd, särskilt omsättningens livlighet däri, som finnas mellan olika oförsumpade råhumusmarker i Norrland, kunna således ej gärna sättas samband med olikheter i markluftningen. Jag anser det även uteslutet iatt den gynnsamma inverkan av markbearbetning å råhumusmarker kan orsakas av en ökad markluftning, då syretillgången även utan några åtgärder oftast ej lämnar något övrigt att önska. Orsaken får i stället även här sökas på annat håll. Närmast får man väl då tänka på en ökad elektrolythalt i humusen på grund av blandningen med mineraljorden, såsom av HESSELMAN (1917 a, p. 973—977) framställt som en arbetshypotes.

På grund av vissa erfarenheter anses det av praktikens män, att grus och sand ha en rötande inverkan på trävirke, och man undviker därför t. ex. vid dammbyggnader i flottleder direkt beröring mellan trävirke och grus- och sandfyllningar genom att isolera det förra medels ett lager ris eller vitmossa. Om det är riktigt, att ett isoleringsskikt av t. ex. vitmossa minskar sandens och grusets rötande inverkan på trä, så synes mig ej heller denna sak kunna förklaras genom ändrade luftningsförhållanden och lika litet genom ändrad fuktighet. Däremot skulle man

även här kunna tänka på en elektrolytverkan. Utlösningen av salter från sand- och grusmaterialet måste visserligen vara högst obetydlig, men i den omedelbara närheten av sandpartiklarna bör dock en högre elektrolythalt kunna uppstå, och det finns knappast anledning tvivla på att redan ett koncentrationstillskott av nästan homeopatisk storlek kan spela en ekologisk roll för de träförstörande organismerna i den saltfattiga miljö det är fråga om. Sannolikt ligga förhållandena på liknande sätt beträffande den svårartade råhumusens organismer. Markvätskan i den ytligt liggande, mineralfattiga råhumusen är säkerligen mycket saltfattig. Den något ökade närsalthalt, som bör bli följd av en omblandning av mineraljord och råhumus eller av en överskiktning av råhumus med mineraljord kan då erbjuda en möjlighet till förklaring av markberedningens gynnsamma effekt. När HESSELMAN 1917 på anförst ställe framställde hypotesen om effekten av markbearbetning på råhumusmark som en elektrolytverkan, diskuterade han även möjligheten av inverkan av ökad markluftning, men han anser, att denna ej kan spela någon avgörande roll. Detta senare kan med än större bestämdhet påstås efter mina markluftundersökningar, och HESSELMANS hypotes om en saltverkan synes i samma mån vinna i sannolikhet.

Av mina analysiffror framgår, att genomluftningen i regel å de väl-dränerade råhumusmarkerna är ungefär lika god mycket långt ned i moränen som å 15 cm. djup. Att skogsträdens och markvegetationens rotsystem å dessa marker hålla sig så ytligt och ej gå på djupet kan alltså, även det, ej gärna hänga ihop med markluftningen.

Gå vi från de torra råhumusmarkerna över till hotade och försumpade marker, så finna vi en variation hos siffrorna för syrehalten inom helt andra gränser än i de förra. Dels finna vi även här prov med nästan full syretillgång, dels sådana som visa mycket stark till nästan fullständig syrebrist. De sistnämnda äro i majoritet. Genom HESSELMANS undersökningar var bekant, att grundvattnet i gransumpskogen visar så gott som fullständig syrebrist. Mina undersökningar komplettera dessa med den upplysningen, att även ovanför grundvattensnivån på de flesta punkter i den våta råhumusen råder högradig syrebrist. Här ha vi alltså verkligen att göra med en dåligt genomluftad mark, vilket däremot enligt mina undersökningar ingalunda generellt är fallet med mark, där grundvattnet är mycket syrefattigt, t. ex. icke med den torra marken å Roklidens försöksfält, som i de övre skikten visade sig väl genomluftad, trots det grundvattnet enligt HESSELMANS undersökningar är ytterst syrefattigt.

Det ligger nära till hands att anta, att i hotad och försumpad mark den experimentellt konstaterade dåliga markluftningen är en faktor av

skogsekologisk betydelse och åtminstone till stor del får göras ansvarig för skogens dåliga växt på dylika marker. Nu finnas även inom marker av denna typ avsevärda variationer med avseende på skogens tillstånd, och det var av stort intresse att se efter hur nära i detalj syrehalten i markluften och skogens tillväxt följdes åt. Därför togs en lokal å Kål-bäcksliden till jämförelse, där skogens tillstånd är betydligt bättre, trots vätan. Analyserna visade emellertid ej någon motsvarande bättre syretillgång i marken. Det negativa utslaget av denna jämförelse är rätt märkvärdigt. Det synes närmast tala starkt emot det antagandet, att den dåliga markluftningen är en faktor, som väsentligt medverkar till den dåliga tillväxten av skogen å sådana marker som det är fråga om. Utslaget kan tolkas på olika sätt. Dels kan man anta, att marken med den bättre skogen har flere, större eller bättre fördelade andhål i form av torrare fläckar än den sämre. Mina analyser tillåta ej ett omdöme för eller emot detta antagande, de visa blott, att variationen från punkt till punkt i dessa marker är mycket stor. Det kunde emellertid iakttagas, att marken å den bättre lokalen var betydligt ojämn, med grubbor och tuvor, och svår att gå i, i motsats till den jämna och släta marken å jämförelselokalen ej långt ifrån. Detta skulle kunna tyda på, att de sammanhängande områdena med farlig syrebrist ej äro så stora i den bättre marken som i den sämre. Att avgöra denna sak genom markluftanalyser är mycket svårt. Man kan nämligen i regel ej alldeles fritt välja punkterna för provtagningen. Än råkar man på sten, än kommer vid sugningen endast vatten, och man måste flytta till en annan punkt. Man törs ej heller ta den nya punkten alltför tätt intill den gamla för att vara säker att ej luft kommer ned genom det gamla hålet och förfalskar resultatet av analysen.

En annan möjlighet till förklaring av skogens bättre växt å den ena lokalen är kanske den, att syrebristen i marken verkar skadligt åtminstone mest indirekt, genom att omsättningen i marken hämmas eller går i en ogynnsam riktning, och att detta kan motverkas av andra faktorer. (Jfr p. [95]—[96] DACHNOWSKIS ideer, samt nedan under 4.) Skogen var å den bättre lokalen betydligt lövblandad, i motsats till den sämre, och det synes tänkbart, att detta förhållande kan motverka en sådan skadlig effekt av dålig genomluftning, som uppstår genom dennas inverkan på bakteriella och andra biologiska omsättningsprocesser i marken.

Hur denna brist på överensstämmelse i detalj än skall förklaras, synes det mig emellertid dock alltjämt sannolikt att den högggradiga och utbredda syrebristen i den hotade marken och sumpskogen är en orsak till att träden där växa så dåligt.

2. Tallhedar.

Som redan ovan ett par gånger antytt, har man velat sätta den dåliga tillväxten och föryngringen på tallhedarna i samband med dålig markluftning. Ovan (kap. 7 och 10) ha vi citerat CLEMENTS (1921) som målsman för denna åsikt, men efter vad jag hört sägas skulle denna uppfattning även ha företrädare bland svenska skogsmän.

Resultaten av mina analyser av prov från tallhedar i Norrland ge emellertid ej det minsta stöd för denna uppfattning. Markluftningen är tvärtom genomgående god, i de flesta fall utomordentligt god, i det syrehalten på alla undersökta djup (ned till 75 cm) ligger omkring $20\frac{1}{2}$ %. Proven togos likväl för det mesta under våtväder.

Man torde efter mina siffror kunna påstå, att det är ytterst osannolikt att dålig markluftning skulle spela en roll som skogsekologisk faktor på tallhedarna. Nu äro visserligen tallhedarna mycket egenartade växtsamhällen, och man skulle kunna tänka sig den möjligheten att på tallhedarna markens, särskilt tallrötternas, egentliga vegetationsperiod infaller på våren och hösten, medan sommaren på grund av den alltför stora torrheten i marken representerar ett relativt stillestånd. Man skulle då vidare kunna tänka sig att under vår och höst perioder av syrebrist uppstå, då marken är som våtast, och att dessa trots sin kortvarighet kunde vara av ekologisk betydelse därför att de infalla just under den korta tid då vattenhalten i marken medger en intensivare livsverksamhet. Någon högre grad av sannolikhet synes mig alls ej denna möjlighet ha. I ALBERTS (1912 p. 662) analysserier från diverse råhumusskogsmarker på sand varierade månadsvärdena av syrehalt under hela undersökningsperioden från april till september endast mellan ungefär $19\frac{1}{2}$ och $20\frac{1}{2}$ %, och de största värdena av syrebrist träffades ej i april, då marken var vattenrikast, utan under röt månadens värme plus fuktighet.

Tallhedarna på sand torde även höra till de skogsmarker, där den allra minsta risken för dålig markluftning föreligger. Grundvattenståndet är i dessa marker mycket lågt, så att överskottsvattnet kan sjunka undan, och sandmaterialet kan i de allra flesta fall knappast kvarhålla så mycket vatten att en god genomluftning äventyras (jfr ALBERT 1912 p. 665). Finns det ett lager skenhålla i sanden, är vattenavrinningen försvårad och i sådana fall skulle man förr kunna tänka sig en syrebrist under vissa perioder. Som TAMM (1920) framhåller, verkar emellertid den ökade vattenhalt i marken som skenhållan åstadkommer gynnsamt på skogen, vilket ju ej talar för, att en skadlig syrebrist skulle uppstå alltför ofta ens här. Så mycket mindre då i den sämre tallheden utan skenhålla.

Tallhedarna på morän torde i genomluftningshänseende vara att jäm-

ställa med de torra granmarkerna som vi förut talat om. Vissa tallhedar med mycket fint mjålmateriel torde å andra sidan möjligen närma sig lerbrännorna, varom skall talas nedan.

I tallhedarna visar som bekant tallarnas rotsystem en utpräglat ytlig utbredning, även på djup sand utan någon skenhålla, som rent mekaniskt kunde hindra dem att gå ned på djupet. Orsaken till detta egendomliga förhållande kan efter vad vi funnit om syretillgången i tallhedarna ej förklaras på grund av dålig markluftning på djupet, utan får sökas på annat håll.

Då den dåliga tillväxten och föryngringssvårigheterna ej kunna hänföras till dålig markluftning, kan uppenbarligen den gynnsamma verkan av markbearbetning ej heller för tallhedarnas del återföras på en förbättring av markluftningen. Som orsak får man i stället även här tänka sig t. ex. en ökad närsalttillgång för humusorganismerna på grund av omblandningen av humustäcket och mineraljorden såsom ovan antytt på tal om markbearbetning å granmarker.

3. Ortsten.

Genom TAMMS nyssnämnda arbete har uppmärksamheten fästs på att ett lager skenhålla i marken åtminstone hos oss i Norrland ingalunda är så farligt för skogen som t. ex. GRÄBNER antagit i Tyskland, utan att skenhållan till och med kan verka gynnsamt genom att öka den genomsnittliga vattenhalten i marken. En undersökning av syretillgången nere i och under skenhållan har väl i och för sig knappt någon skogsekologisk betydelse, då inga rötter förlöpa där, men har sitt intresse som en prövning för våra förhållanden av GRÄBNER'S åsikt, att ortstenslagret för sin oxidation förbrukar nästan de sista resterna av syre, som kommer dit ned. Analyserna visade att så ingalunda var förhållandet, utan att tvärtom syretillgången ännu på betydligt djup (intill i det närmaste 1 meter) var mycket god, ungefär 20 %. Dessa analyser gällde sandmarker med järnortsten. Ett par analyser av prov tagna i humuseräll i morän visade betydligt mindre syrehalt, ned till ej fullt 16 % syre på 50 cm djup, och det vill av dessa prov synas, som om oxidationen av humusämnen i dylika ortstensformer dock verkligen skulle kunna vara nog kraftig för att märkbart påverka markluftens sammansättning. Någon skogsekologisk betydelse torde denna omständighet knappast ha.

4. Ljungråhumus.

Beträffande marker med ljungråhumus är det en mycket allmän åsikt att markluftningen skulle vara dålig. »Ljunghedsmark hör till de allra

sämst genomluftade marker», säger t. ex. GRÄBNER. Det finns som väl känt ljunghmarker av högst olika kvalitet, från lättkultiverade typer till sådana marker där sådderna och planteringarna gå hopplöst dåligt, åtminstone rena grankulturer. Det var av stort intresse att få veta hurudan markluftningen är i de dåliga ljunghedarna, och om den är bättre i de goda. Så bör vara förhållandet, om dålig markluftning spelar en skogs-ekologisk roll i ljunghedsmarkerna.

Av de studerade lokalerna med dålig ljunghed å Vallåsen representera två (se avd. V: 19 och 21) åtminstone övergångsformer till den försumpade ljunghedstypen (angående de olika typerna av ljunghedar, se SCHOTTE 1921). I markvegetationen uppträda växter som *Eriophorum alpinum* och klockljung och grundvattenståndet var tydligt högre än å de andra undersökta lokalerna. De två återstående lokalerna å Vallåsen representera den oförsumpade lavrika ljungheden, den ena en yta med mycket dålig gran, den andra en yta utan gran, endast planterad med bergtall, men med ett bättre utseende, enstaka enbuskar o. s. v.

Till jämförelse ha en del prov tagits i lyckade granplanteringar å ljunghedsmark. Vid en summarisk jämförelse mellan proven från den dåliga och dem från den goda ljunghemarken finner man, att i den förra flera gånger ha uppträtt avsevärda värden av syrebrist, däremot aldrig i den senare. Detta synes tyda på, att dålig markluftning skulle vara att tänka på som en faktor, betingande den dåliga tillväxten och svåra föryngringen å de förra markerna. Vid en granskning i detalj finner man dock, att några värden av syrebrist att tala om ingalunda uppträtt i alla de dåliga ytorna utan endast i de två som närma sig försumpning. Å den torrare ytan V: 20, där granarna å stora områden äro lika dåliga som å de våtare ytorna, var syrebristen å sådana områden ingestädes större än den samtidigt var i den vackra kulturgranskogen V: 24. Visserligen träffades å en punkt å den förra ytan en något större syrebrist, detta var emellertid i en grupp med vackra granar, och detta värde bör därför rätteligen ej tas med vid jämförelsen mellan den dåliga och den goda marken. Å den bergtallplanterade ytan V: 23 med bättre utseende, men tillhörande den sämre gruppen (ytan representerar enligt prof. SCHOTTES åsikt en typ, som ej utan vidare kan planteras med gran) var syrebristen genomgående mindre än samtidigt i den vackra kulturgranskogen strax intill på bättre mark.

Vid en jämförelse i detalj försvinner alltså alldeles sambandet mellan god markluftning och markens godhet, och kvar blir endast parallellismen mellan dålig markluftning och ifrågavarande ljunghemarkstypers fuktighetsgrad. Mina analysvärden tyda alltså på, att dålig markluftning ej är någon generell orsak till att vissa ljunghedar äro så dåliga för gran.

Denna slutsats står i god överensstämmelse med en hel del skogliga och skogligt experimentella erfarenheter.

Ljunghedarna anses (jfr SCHOTTE 1921) ej längre som ett så svårt skogligt problem som förr. De allra flesta även svårföryngrade ljunghedar i Sverige bli skogbärande av sig själva förr eller senare, fastän det visserligen ibland dröjer rätt länge. Ljunghedar, som det ej går att plantera med gran direkt, planterar man med tall eller bergtall, och i sällskap med tallarna går sedan förr eller senare granen ganska bra. I överensstämmelse härmed ser man på i huvudsak dåliga marker med gruppvis bättre gran, hur dessa grupper uppträda invid, omkring eller under tallar eller björkar. Det finnes alltså i de sämre markerna något hinder för granens växt, som kan bortskaffas genom att odla tall etc. Det är ju ej på förhand uteslutet, att detta hinder kan vara eller sammanhänga med dålig markluftning. Att döma av tallens och granens sätt att förekomma på mossar tål tallens rotsystem bättre syrebrist än granens. Man kunde tänka sig, att tallrötterna kunna ge sig in i ljungråhumus, som är för våt och dåligt luftad för granens rötter, och torka ut denna så mycket genom sin transpirationssugning, att den blir nog välluftad även för granrötterna. Den goda inverkan av tall på granarna visar sig dock enligt benägen upplysning av prof. SCHOTTE redan invid helt små tallar, som man ej gärna kan tänka sig utöva någon nämnvärd uttorkande effekt på humuslagret. Vidare visade HELMS' (1911) försök, att den gynnsamma verkan på granarna framkom även efter gödsling med avfallna bergtallsbarr, utan att själva tallarna funnos närvarande. De intressanta försök, som jag syftar på, utfördes i en granplantering å ljunghed i Danmark, där granarna visade den å dåliga ljunghedar vanliga bilden med dålig tillväxt och gul färg på barren. Till försöken användes tre parceller, som följdes i fyra år. Den ena parcellen blev orörd, å de två andra borttogs ljungen och å den tredje gödslades dessutom med ett 4 tum tjockt lager av bergtallsbarr. Resultatet var efter 4 år:

	Parc. 1. orörd	Parc. 2. ljungen borttagen	Parc. 3. ljungen bort- tagen, berg tallsbarr.
Medelhöjd, cm	45	48	73
Medellängd av 10 längsta toppskott...	9	15	35

Skillnaden mellan parcell 3 och de övriga var enligt HELMS ännu större än som framgår av siffrorna, ty de frodiga toppskotten på parcell 3 hade blivit avbitna av rådjur, så att de ej hade sin fulla längd. Skillnader mellan de olika parcellerna visade sig även däri, att granarnas färg å parcell 1 var gul, å parcell 2 ljusgrön, å den tredje parcellen

nästan normalt grön. Överhuvud uppfattas granarnas dåliga utseende och tillväxt på dåliga ljunghedar av de danska forskarna med P. E. MÜLLER i spetsen framförallt som en följd av kvävehunger. Man kan förbättra granarnas tillstånd genom att plantera kvävesamlande ärtväxter, medan tillförseln av kvävefria mineraliska gödselmedel i och för sig är otillräcklig. Den samtidigt med odlingen av ärtväxter nödvändiga tillförseln av dylika gödselmedel anses därför ha betydelse framför allt för att ge betingelser för ärtväxternas trevnad och ej direkt för granen (jfr P. E. MÜLLER & HELMS 1913, p. 330 och 332—333).

Nu skulle man visserligen för ljunghedarnas del kunna tänka sig ett sammanhang som det ovan på tal om tallhedarna framkastade, nämligen att på sommaren ytlagret är för torrt, och å andra sidan under de tider, höst och vår, då vattenhalten och samtidigt temperaturen är tillräcklig för en livligare livsverksamhet, syrebrist föreligger i ljungråhumusen, så att av denna anledning aëroba organismer även då skulle ha dåliga livsbetingelser. (Jfr RINDELL 1919 p. 56—57). Den under våren och senhösten möjligen förekommande syrebristen i marken skulle alltså kunna ha en indirekt betydelse. HELMS' ovan anförda försök motsäga ej alldeles denna uppfattning. Den starka sommaruttorkningen måste väl i lika mån träffa ett pålagt lager av bergtallbarr, men man kan ju tänka sig, att omsättningen under vår och höst räcker till. Dessutom kunde man tänka sig, att tallbarrlagret under sommaren hindrar ljungråhumusen att torka ut alltför mycket och på så sätt ökar omsättningen i denna. En direkt skadlig inverkan av dålig genomluftning på granarnas rot-system kan i alla händelser knappt föreligga, ty då borde HELMS' försök ha givit ett annat utslag. Vad beträffar möjligheten av en indirekt inverkan på sätt som skisserats, skulle jag vilja framhålla, att ljungråhumusen likväl ej synes kvarhålla vatten så särskilt hårdnackat, då genomluftningen å Skogsförsöksanstaltens provtytor å dålig ljunghed å Vallåsen var så god i början av september efter en mycket regnrik augusti månad (jfr tab. XIV).

Allt det anförda visar sålunda hän på, att syrebrist i marken knappast är någon generell orsak till de stora föryngringssvårigheterna för gran å dåliga ljungmarker. Att å somliga dylika marker, d. v. s. sådana som närma sig försumpning, till de andra ogynnsamma omständigheterna sällar sig en betänklig syrebrist i marken under vissa tider, synes å andra sidan framgå av mina siffror, och som redan i föregående kapitel anmärkt vill det synas som en ansenlig syrebrist skulle kunna uppkomma vid en mindre vattenhalt i marken när det är fråga om ljungmarkerna än fallet är i råhumusmarkerna i Norrland.

5. Bokråhumus.

Undersökningarna i bokråhumusmarker omfatta som redan ovan påpekats en lokal med både mäktig, fast och seg bokråhumus, som torde representera det sämsta som man i vårt land kan träffa på av detta slag. Ändock visade sig genomluftningen i denna mark ända ned på stort djup mycket god. Nu är det sant, att undersökningen ej omfattar någon alldeles extrem våtperiod, och siffrorna representera därför inga maximivärden för lokalen. Då emellertid genomluftningen var så god i början av september efter en mycket regnrik augusti, så synes det visa, att vattnet rinner undan fort och ej med någon påfallande stor seghet kvarhålles i råhumusen. Att bokråhumusen i och för sig lika litet som andra former av råhumus är något hinder för en god markluftning framgår i varje fall klart av siffrorna.

Intet har alltså vid mina undersökningar framkommit, som berättigar det antagandet, att föryngringssvårigheterna å bokmarker med svår råhumus skulle ha något med dålig markluftning att göra.

6. Mossar och kärr.

Rotsystemen hos den speciellt tillpassade vegetationen av kärr- och mossväxter äro i motsats till den typiska landvegetationen till stor del hänvisade till att leva i grundvattnet, och de uthärda även tydligen detta mycket bra, eftersom de växa och frodas på de lokaler som de faktiskt bebo. En hel del, troligen de flesta, typiska landväxter tåla däremot ej vattendränkt jord (jfr kap. 9) på grund av att rotsystemet kväves eller förgiftas, och det är väl nästan säkert, att det just är på grund av den ringa syretillgången i kärr- och mossmarker som de vanliga landväxterna äro utestängda från konkurrensen å dessa marker. Om och i vad mån skiftande syretillgång i vattnet i kärr- och mossmarker spelar en roll som ekologisk faktor för kärr- och mossvegetationens konstituenten och inverkar på utgången av kampen om platsen dem emellan är en annan fråga. Metodiskt angripes denna fråga bäst genom vattenanalyser, då rhizosfären för de ifrågavarande växterna i huvudsak är grundvattnet. Intressanta bidrag till denna fråga ha BORNEBUSCHS (1914) och MALMSTRÖMS (1922) undersökningar givit. Själv har jag ansett detta problem ligga utanför ramen för min undersökning, och jag har därför endast gjort några strödda analyser av luft från nivåer ovan grundvattensnivån med min vanliga metodik, därvid det visade sig, att markluften ovan grundvattnet i mossar hade en sammansättning, som endast obetydligt avvek från den normala luftens, trots det att grundvattnet i

samma marker är så gott som syrefritt. Någon omedelbar ekologisk betydelse torde denna omständighet ej ha. Trots den tidvis goda syretillgången i det ytliga skiktet kunna mer syrekrävande växter ändå ej slå sig ned på dessa marker, enär grundvattnet långa tider av året står högt upp i ytan och i och med detsamma syrebrist inträder även i ytliga skikt. I det grunda skikt, där tilläventyrs lufttillgången alltid är tillräcklig, är å andra sidan risken för uttorkning av rötterna stor. Den höga syrehalten i markluften har dock sitt intresse ur andra synpunkter. Förhållandet bidrar till exempel till förståelsen av den stora olikhet i nedbrytningshastighet som finnes mellan området över och under grundvattensnivån i myrmarkerna (se MALMSTRÖM 1922). Grundvattensnivån i myrmarkerna måste efter mina analyser, kombinerade med HESSELMANS och MALMSTRÖMS, anses som en skarp gräns mellan ett område med nära nog fullständig syrebrist och ett område med mycket god lufttillgång på talrika punkter.

Vad kärren beträffar, ha BORNEBUSCHS undersökningar gjort sannolikt, att syrehalten i vattnet för den vanliga alen är en ekologisk faktor av avgörande betydelse. I sådana alkärr, där alen trivdes gott, höll grundvattnet mellan 6 och 14 % av den normala syrehalten, i dåliga alkärr mellan 0 och 7 % av den normala. Alens rotsystem kräver alltså en viss låg minimikoncentration av syre i vattnet omkring rötterna för att trivas.

Den högsta syrehalt, som BORNEBUSCH träffade i vattnet i alkärr, motsvarar en syrehalt i markluften av endast knappa 3 %, alltså dock höggradig syrebrist. Ett par analyser som jag utfört av markluft ur ett alkärr på Hallands Väderö i ovanligt torrt tillstånd visade visserligen en viss syrebrist, men likväl ända nere på 45 cm djup, ej långt ovan grundvattensnivån, 16 % syre. I kärrmullen synes av denna siffra att döma liknande förhållanden råda som de nyss påpekade i mossarna, om ock ej så extrema, då syrebristen i grundvattnet i regel är långt ifrån fullständig och i markluften strax ovanför grundvattnet i alla fall avsevärd. Någon omedelbar ekologisk betydelse torde den omständigheten, att syrehalten t. ex. i det undersökta alkärret å Hallands Väderö stundom kan gå upp till så pass betydliga belopp, väl lika litet ha som motsvarande förhållande i mossarna. De växter, blåsstarr, kärrviol etc., som växa där, måste utan tvivel ändock vara rustade att uthärda de syrehalter som stå dem till buds i grundvattnet för att kunna kvarleva, då vattnet i regel står ända upp i ytan. Sekundärt kan kanske å andra sidan den höga syrehalten under vissa perioder ha sin betydelse till följd av den livligare omsättning genom bakterier etc., som troligen under sådana perioder äger rum i de ytliga skikten.

7. Lermarker.

Som redan ovan påpekat, är det med den av mig använda metodiken ej möjligt att ta reda på syrehalten i den i kompakt lera befintliga luften, och detta är ej heller möjligt med någon annan känd metodik, såvitt jag har mig bekant. Det saknas därför direkta experimentella hållpunkter för ett bedömande av förhållandena i marker med kompakt lera. Man vet emellertid, att diffusionshastigheten i kompakt lera är högst betydligt nedsatt, även om leran är torr (jfr kap. 7 E, Diffusionskoeffizient), och därtill kommer, att ett så finkornigt material som lera kvarhåller vattnet hårdnackat, vilket ytterligare måste bidra att minska diffusionshastigheten genom lera under naturliga förhållanden.

Detta gäller kompakt lera, våt eller torr. Vid lerans torkning ute i naturen spricker den emellertid nästan alltid mer eller mindre sönder, och i och med detsamma bildas vida luftkanaler, där genomluftningen är mycket god. Därför behöver den naturligtvis ej vara det inuti leran mellan sprickorna.

På de norrländska s. k. lerbrännorna brukar trädens rotsystem vara mycket ytligt, men jag har å andra sidan iakttagit, att rötter på sina ställen kunna gå ned rätt djupt i sprickor i leran. Detta synes tyda på, att rotsystemets ytlighet verkligen här, i motsats till förhållandet på tallhedarna, skulle kunna vara förorsakat av dålig luftväxling nere i marken, och förhållandet synes då samtidigt antyda, att de sprickor, i vilka rötterna gå, äro något så när permanenta. En möjlighet till förklaring av att en gång uppkomna sprickor skulle kunna hålla sig även över våtperioder kunde man söka i moss- och råhumustäckets skyddande inverkan (se följande kapitel).

8. Kolsyrehalterna.

Vid diskussionen i detta kapitel ha vi hittills uteslutande talat om syrehalter och värden av syrebrist, ej ett ord om kolsyrehalterna. Likväl erinra vi oss från kap. 9, att när det gäller små värden av syrebrist och kolsyrehalt en viss kolsyrehalt ofta visat starkare fysiologisk inverkan än en syrebrist av motsvarande storlek. Problemet ligger emellertid ej så till, att man med någon som helst vinst skulle kunna diskutera den skogsekologiska betydelsen av kolsyrehaltens skadliga inverkan för sig. Vi känna rent fysiologiskt alltför litet om syrebehovet och kolsyretoleransen hos rotsystemen av våra skogsträd och hos markorganismerna, och den jämförande indiciemetod, som vi bl. a. därför äro hänvisade till, tillåter ej att skilja på syrebristens och kolsyrehaltens ekologiska inverkan i det av-

seende som här sysselsätter oss, då båda i stort sett variera parallellt. När i diskussionen ovan t. ex. ett sammanhang antagits mellan trädens dåliga växt och syrebrist i marken å vissa lokaler, så bör därför efter syrebrist underförstås: plus eventuellt hög kolsyrehalt. Emellertid ha vi i kap. 13 sett, att i de våta marker, där de höga värdena av syrebrist träffas, kolsyrehalterna alltid bli långt efter. Det högsta värde av kolsyrehalt, som jag överhuvudtaget funnit, var ej fullt 6 %, medan däremot syrebristen kunde bli nästan fullständig. Det antagandet förefaller därför att ha fog för sig, att i fall, där betänkligt dålig markluftning förekommer, det framförallt är syrebristen som blir farlig.

KAP. 16. Återblick. Försök till några skogligt viktiga slutsatser.

Om, av skäl som ovan anförts, den skogsekologiska detaljtolkningen av analysiffrorna ibland erbjuder sina svårigheter och ofta ej leder till slutsatser i form av kategoriska påståenden, utan utmynnar i en diskussion, som får utgöra svar på frågan, så torde likväl så mycket vara visst, att en höggradig syrebrist i marken är en ogynnsam faktor för våra skogsträd.

Ett annat resultat av undersökningarna är mycket enhetligt och oomtvistligt. Det är, att faran för dålig markluftning framför allt kommer från vattnet i marken. De höga värdena av syrebrist har jag utan undantag funnit endast i våt mark, och omvänt har jag med ett par undantag funnit även den satsen gälla, att så snart marken sommartiden är så våt, att vatten kommer med provet, en större syrebrist än vanligt finnes i markluften. Undantagen gälla dels starka sluttningar, där vattnet är starkt rörligt, dels området ovan grundvattensnivån i mossar, där särskilda förhållanden råda, som diskuterats i kap. 14.

Vi påpekade i början av avhandlingen (kap. 3) den tämligen självklara saken, att värdena av syrebrist i marken måste bestämmas dels av intensiteten hos de syreförbrukande processerna, dels av gasutbytets livlighet. Den första hänger intimt samman dels med halten av i nedbrytning stadd organisk substans i marken, dels med temperaturen. Beträffande gasutbytet visade vår utredning avd. II, att den viktigaste därvid verksamma faktorn måste vara diffusionen, och att denna för marker sådana som våra naturliga skogsmarker bör vara den enda, som praktiskt taget kommer i fråga. Diffusionen förlöper i jordens luftfyllda porer med ungefär samma hastighet i jordar av den mest olika struktur, kornstorlek och porositet samt under olika väderleksförhållanden, men är betydligt ned-

satt i extremt finkornig jord (kompakt lera) och går ytterligt långsamt i vatten. Det är därför i huvudsak den luftfyllda porvolymen i jorden som det kommer an på. Är denna tillräcklig, föreligger utom möjligen i lermarker ingen risk för dålig markluftning i de biologiskt viktiga skikten. Mina analyser visa, att med den omsättningshastighet, som råder i våra svenska skogsmarker, lufthalten hos dessa i normalfuktigt tillstånd även utan några luckringsåtgärder är fullt tillräcklig för en fullgod markluftning. Detta gäller skogsmarker på morän, sand etc.; extrema lermarker kunna analyserna ej säga något om. I vattendränkt mark kan å andra sidan lufthalten gå ned till nästan ingenting, och i dylika marker föreligger risk för dålig markluftning. I själva verket visade också analyserna just i dylika marker betydlig till nästan fullständig syrebrist. Även RUSSELL & APLEYARD funno höggradig syrebrist endast i vattendränkta marker.

Det är en utbredd åsikt, att en mäktig råhumus i och för sig är ett svårt hinder för god markluftning. Mina undersökningar ha visat, att så ej är fallet, åtminstone vad beträffar våra svenska råhumusformer. Råhumusmarkerna foga sig tvärtom alldeles i det nyss givna skemat: är marken ej alltför våt, är markluftningen god, men med stigande vattenhalt blir den dålig. Jag skulle till och med tro, att ett oförmultnat råhumustäcke av den karaktär som t. ex. i de norrländska blåbärsgranskogarna snarare är en garanti mot dålig markluftning än motsatsen. A. JOLYET framhäver i sin *Traité de sylviculture* (1916) skogsförnans betydelse för att skydda marken mot vattnets mekaniska inverkan. I naken jord kan ett störtregn orsaka en tillslamning av porerna i ytan med finmaterial, som även sedan vattnet försvunnit minskar genomluftningen i den underliggande jorden. I SORAUER-GRÄBNERS handbok i växtsjukdomar rekommenderas som en åtgärd för att hålla jorden väl genomluftad bl. a. att täcka den med ett lager strö just för att undvika en tillslamning i ytan. Samma tjänst som en strötäckning skulle skogsförnan enligt JOLYET (p. 348) göra i skogen, och samma roll spelar utan tvivel ännu effektivare ett råhumuslager. T. ex. å sådana marker som lerbrännorna i Norrland är sannolikt ett råhumuslager av denna anledning direkt fördelaktigt ur markluftningssynpunkt (jfr kap. 15: 7).

Det intima samband mellan vattenhalten i marken och markluftningen, som vi såväl genom vår teoretiska utredning som genom direkta markluftanalyser kommit till, i förening med det resultatet, att kornstorleken spelar så liten roll, så länge det ej är fråga om lermarker, tillåter en bedömning redan genom okulär besiktning av risken för dålig luftning i en viss mark.

I väl dränerad skogsmark på morän, sand etc. torde i vårt land

aldrig risk för dålig markluftning föreligga, hur marken i övrigt är beskaffad. I försumpade marker av alla slag finns å andra sidan alltid grundad anledning att frukta syrebrist i marken. Likaså torde risken för dålig markluftning ligga nära i vissa lermarker.

Vi citerade kap. 9 ett uttalande av den gamle växtfysiologen SAUSSURE, som går ut på, att när växter lida därav att deras rotsystem blir översvämmat, så beror detta ej på vattnet i och för sig, utan på att rötterna få för litet syre. Vattnet är växternas viktigaste näringsämne, och i ingen koncentration giftigt; därav kunna de ej få för mycket. En sådan åtgärd som dikning är därför som HESSELMAN (1910 b) påpekar från växtfysiologisk synpunkt ej en åtgärd för att bortskaffa vatten, utan för att skaffa rötterna och markorganismerna syre. Efter de resultat, som vi ovan kommit till, kan man för de flesta svenska skogsmarkers vidkommande nu även vända om denna sats och säga, att den enda praktiskt användbara metod att skaffa rötterna och markorganismerna mer syre, om de lida brist därpå, är att dika.

Att bortskaffa moss- och råhumustäcket torde däremot från luftningssynpunkt vara alldeles bortkastad möda, ja, skulle å vissa marker av nyss anförda skäl sannolikt verka motsatsen mot vad som avsetts.

Likaså måste markluckring i skogsmark anses som en ur markluftningssynpunkt onyttig eller åtminstone onödig åtgärd, hur stor betydelse av andra skäl markbearbetning än må ha.

AVD. V.

LOKALBESKRIVNINGAR.

(Anm. De använda svenska växtnamnen äro de i NATHORSTS Svenska Växtnamn upptagna och finnas dessutom översatta i slutet av denna avdelning.)

1.

Skogsskifte tillhörande hemmanet Storlund och stötande intill Kulbäckslidens krp., Degerfors socken, Västerbotten. Där prov 30 togs står gammal, för trakten hög och vacker skog, en mossrik granskog på morän med inblandning av tall, gråal, björk och rönn. Markvegetationen utgöres mest av husmossor (*Hylocomium parietinum* och *proliferum*). Dessutom: enbuskar (enstaka*), blåbär, lingon (fläckvis rikligt), revlumner, linnéa, ekbräken (fläckvis rätt mycket, dock ej å de undersökta fläckarna), midsommarsblomster (likaså), skogskovall, vårfryle, gullris, ekorrbär, duvkulla.

De övriga proven (124—129) togos i ett högre liggande och magrare parti av skogen, med gammalt, tämligen oväxligt och lavigt restbestånd av gran efter uthuggning. En och annan tall och en del björk som inblandning. I markvegetationen varken ekbräken eller midsommarsblomster och risén (lingon och blåbär) rikligare, var för sig fläckvis dominerande.

2.

Kulbäckslidens krp., Degerfors socken och revir, Västerbotten. En liten låg och flack moränås, som tunglikt skjuter in mellan omgivande myr- och försumpade marker, bär å den västra sluttningen (mot myren) tallskog, å den östra mossrik granskog, som nedåt sluttningen blir allt björnmossrikare och sedan övergår i gransumpskog. Stället återfinnes lätt å MALMSTRÖMS (1922) karta över Degerö Stormyr med ledning av den skogskoja, som ligger på åsen strax intill den prickstreckade rektangel, som utmärker Kulbäckslidens försöksfält. Marken är även å de torrare partierna närmast kojan råhumus-besvärad, råhumusen är dock ej av värsta sort. En stor del av proven äro tagna nära kojan och inom försöksfältet. Å kartskissen fig. 11 äro dessa provpunkter utmärkta, de från 1920 ungefärligt (dock efter förda anteckningar), de från 1921 exakt (stegade avstånd från brunnarna). En serie prov, 111—123, äro som synes tagna längs en linje från kojan genom brunnarna V och VI ned mot en liten tallmosse, som synes både på MALMSTRÖMS karta och delvis på kartskissen fig. 11. Skögen är här dålig, även på den torra marken, och sedan allt lavigare och uslare ju längre nedåt sluttningen. Markvegetationens karaktär å den torra marken framgår av nedanstående Raunkiær-analys, som härrör ungefär från den fläck, där proven 51—53 togos.

* De här och där använda beteckningarna »enstaka», »rikligt» etc. betyda ej HULT-SERNANDERSKA grader, utan vilja endast ge en antydning, utan alla anspråk (jfr DU RIETZ. 1921 p. 225; 230—231), om förekomstens riklighet.

12. VII. 1919. 25 cirkelytor om 1/10 m². Analys av H. HESSELMAN och L.-G. ROMELL*. Täckningen uppskattad i tiondedelar av provytorna.

F% berechnet nach Aufnahme von 25 Kreisflächen à 1/10 m², A% nach Schätzung von Zehnteln dieser Flächen.

Ris (Zwergsträucher):	F%	A%		F%	A%
<i>Vaccinium myrtillus</i>	100	46	<i>Melampyrum pratense</i>	16	—
» <i>vitis idæa</i>	68	6	<i>Goodyera repens</i>	8	—
<i>Empetrum nigrum</i>	68	5	<i>Solidago virgaurea</i>	4	—
<i>Linnæa borealis</i>	52	—	<i>Luzula pilosa</i>	4	—
<i>Calluna vulgaris</i>	12	1	Mossor (Moose):		
<i>Vaccinium uliginosum</i>	8	0	<i>Hylocomium parietinum</i> ...	100	41
<i>Juniperus communis</i>	4	—	» <i>proliferum</i> ...	100	38
Gräs och örter (Grä-			<i>Polytrichum commune</i> ...	96	9
ser, Kräuter):			<i>Hypnum crista castrensis</i>	56	1
<i>Aira flexuosa</i>	88	1	<i>Dicranum scoparium</i>	12	—

En annan profilinje från den oförsumpade mossrika skogen uppe på åsen ned till sumpskogen bilda de punkter, från vilka proven 130—142 härstamma. Denna linje går ungefär parallellt med den förra omkring 300 m längre åt NW. Från de olika punkterna å denna linje gjordes följande anteckningar:

Punkt 1 (prov 130—131): Tämligen växtlig skog av gran med lövinblandning (gråal, björk, asp). Granföryngring i luckorna. Svällande matta av *Hyloc. proliferum* med lingon, blåbär, revlumner, något ekbräken. Markprofil: normal podsol med 5—8 cm blekjord, c:a 20 cm nedåt diffus rostjord, något flammig. Ovan blekjorden 5 cm skarpt avgränsad råhumus under 10 cm mossdyna.

Punkt 2 (prov 136—137): 15 steg nedåt sluttningen från 1. Markvegetation mossor, yppiga, *Hyloc. parietinum* och *proliferum*, enstaka inblandad björnmossa; blåbär, lingon, kråkris, linnéa, revlumner, björkvintergröna; duvkulla, ekorrbär, vårfryle, ekbräken (få, magra exemplar), kovall. Blåbär ganska obetydligt, linnéa ungefär lika mycket. Föryngring av gran, tall, björk, rönn. Markprofil normal podsol med 3 cm råhumus, 8—12 cm blekjord, omkring 20 cm rostjord, uppåt skarp, nedåt förtonande.

Punkt 3 (prov 132, 133): 10 steg nedåt sluttningen från 2. Blåbärsriset täcker nästan 0. I stället ekbräken karaktärsväxt. Dessutom lingon, linnéa, revlumner; duvkulla, ekorrbär, vårfryle, gullris, ängskovall, kruståtel etc. Markprofil: 3—5 cm råhumus, undertill rätt mulnad och mullaktig, 10—15 cm blekjord, därav övre 2 cm gråsvart, 20 cm flammig rostjord. Moränen under rostjorden våt som en gröt.

Punkt 4 (prov 134): 10 steg nedåt sluttningen från 3. Här björnmossa och fläckar av *Spaghnum Russowii* och *acutifolium*; av andra mossor *Hylocomium proliferum* och kammossa (*Hypnum crista castrensis*). F. ö. rätt mycket blåbär, vidare ekbräken etc. Markprofil: en starkt försumpad humuspodsol

* Prof. HESSELMAN har välvilligt tillåtit mig att publicera denna och följande Raunkjær-analyser, som ej gjorts för mitt arbete, utan i samband med prof. HESSELMANS humusundersökningar.

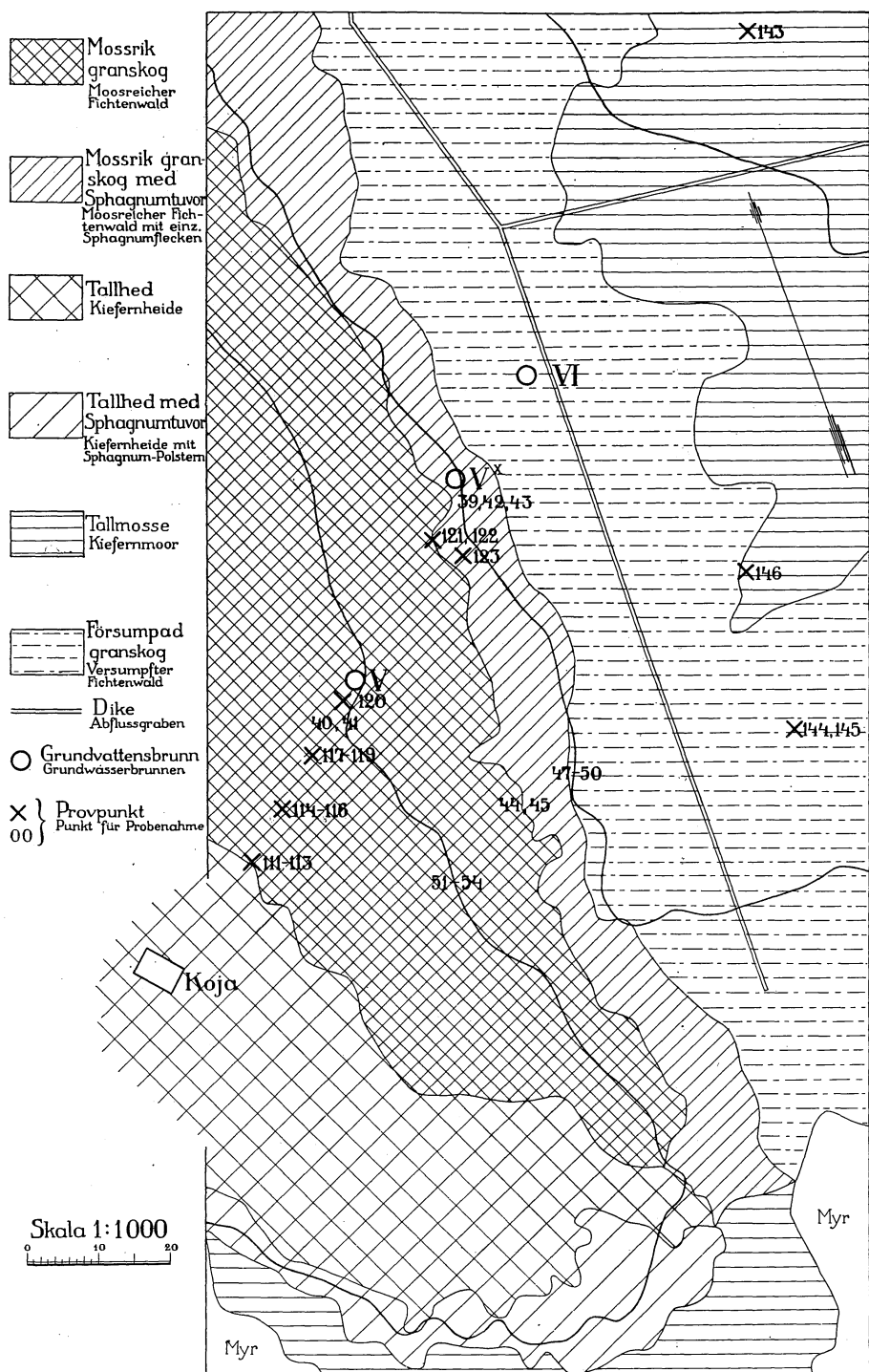


Fig. 11. Kartskiss över en del av Skogsförsöksanstaltens försöksfält vid Kulbäcksliden, Degerfors socken och revir, Västerbotten; efter karta av D. GRUFMAN 1909. De tre kurvorna, som ej äro gränser, äro höjdkurvor för varje meter. — Kartenskizze über einen Teil des Versuchsfeldes der forstlichen Versuchsanstalt bei Kulbäcksliden, Revier und Kirchspiel Degerfors, Västerbotten. Die drei stärker gezogenen Kurven sind Höhenkurven für jedes Meter. Vgl. Lokalitätsbeschreibung Nr 2. Die Ziffern verweisen auf Tab. XIII.

(benägen granskning av doc. TAMM) med 10—30 cm blekjord och därunder mörk rostjord, allt diffus. Gleyhorisont. Övre 5 cm av blekjorden svart. Råhumus 3 cm under förnan och mossan. Vid ett besök 3 dagar efter provtagningen stod grundvattnet på omkring 30 cm djup i den upptagna gropan.

Punkt 4 a (prov 135): Endast 3 steg nedom föregående, i en blandtuva av *Sphagnum Russowii* och björnmossa. 20 cm torv, diffus gräns mot upptill smutsig blekjord (15 cm). Starkt försumpad profil med ytterst diffusa gränser mellan skikten och med gleyhorisont. Grundvattnet stod vid besöket 3 dagar senare i gropan 20—25 cm djupt, alltså upp till torvens början.

Punkt 5 (prov 138—142): 10 steg nedom 4. Blöt mark med björnmoss- och *Russowii*-tuvar jämte tuvor av bägge *Hylocomia*. Ris: blåbär, kråkris, revlumner. I markvegetationen vidare klotstarr. Skogen: starkt björkblandad, riktigt bra unggranar trots blötan. Starkt försumpad markprofil med 20—30 cm gråaktig, översta 5 cm svart och sedan här och där alltigenom svart-flammig blekjord. Prov 138 togs i en *Hylocomium*-tuva, 139—140 i en *Russowii*- och 141—142 i en björnmossstuva. På åtskilliga punkter försöktes förgäves att ta luftprov, det kom endast vatten.

Såväl försöksfältet som omgivande terränger äro numera dikade, men dikningen har ej gjort någon märkbar effekt på skogen eller markens fuktighetsgrad.

Å en del av den nämnda flacka lilla moränåsen är skogen kalhuggen. Prov 46 härstammar från detta hygge.

I den nämnda tallmossen — en rismosse med dvärgbjörk, klotstarr etc. —, som ligger i förlängningen av den första profillinjen, inom försöksfältet, samt i den angränsande sumpskogen togos några prov (143—146) i moränen under mäktig torv. Läget av dessa punkter framgår av fig. 11 och torvens mäktighet är angiven i tabellen.

3.

Statens Skogsforsöksanstalts försöksfält vid Rokliden nära Fagerheden, Piteå revir och socken, Norrbotten. En karta över försöksfältet finnes publicerad, till vilken hänvisas (HESSELMAN 1909 p. 33). Fältet är numera dikat och märkbart torrare. Den mossrika granskogen å morän är rik på blåbär och starkt råhumusbesvärad med oväxtlig, lavig skog. (Jfr fotografi hos HESSELMAN 1910 p. 102). Proven äro tagna å punkter med 10 stegs avstånd utefter en rät linje genom brunn V, som övertvärar den bukt in mot SO som zonen granskog med spridda vitmossor gör W—SW om brunn V. Sista punkten ligger helt nära (4 steg ifrån) brunn V. Profilen gicks som förut från den högre punkten till den lägre, vilket emellertid här betyder från den hotade till den friska marken. De tre första punkterna ligga å den förra, de två sista å den senare. Följande anteckningar gjordes från de olika punkterna.

Punkt 1 (prov 196 och 178): Under matta av *Hylocomium proliferum* med inblandad björnmossa 5 cm råhumus, 10 cm blekjord, sedan smutsig eräll-artad rostjord (humusortsten).

Punkt 2 (prov 195 och 179): Under matta av mest *Sphagnum Russowii* (eller *Girgensohnii* ?) samt kammossa och björnmossa 10 cm råhumus, 18 cm blekjord, smutsbrun rostjord, erällaktig men lösare än föregående.

Punkt 3 (prov 194 och 180): Under matta av båda *Hylocomia* med inblandad björnmossa 5—7 cm råhumus, 7 cm blekjord, 13 cm rostjord, ej erällsartad.

Punkt 4 (prov 193 och 181): Under matta av bägge *Hylocomia* 5 cm råhumus, 6—10 cm blekjord, 18 cm rostjord, ej erällsartad.

Punkt 5 (prov 192 och 182): Under matta av *Hylocomia* och kammossa med mycket blåbär 5 cm råhumus, 23 cm blekjord, 13 cm eller något mer normalfärgad rostjord, dock med en och annan erällskärna av brunare frägl.

4.

Kulbäckslidens kronopark, Degerfors socken och revir, Västerbotten. Sluttningen av Flakatjälen ned mot Storkåtatjärnsbäcken. Oväxtlig, lavig granskog å något fuktig mark (morän), där råhumusen nedtill är rätt mullartad och där markvegetationen är ganska rik:

12. VII. 1919. 25 cirkelytor om 1/10 m². Analys av H. HESSELMAN och L.-G. ROMELL. Täckningen skattad i tiondedelar av småytorna.

F% nach Aufnahme von 25 Kreisen à 1/10 m², A% nach Schätzung in Zehnteln.

Ris och trädplantor	F%	A%	Gräs och örter (Gräser und Kräuter):	F%	A%
(Zwergsträucher, Baum- pflänzchen):					
<i>Linnæa borealis</i>	100	8	<i>Dryopteris Linnæana</i>	96	19
<i>Pyrola secunda</i>	100	8	<i>Aira flexuosa</i>	96	3
<i>Vaccinium vitis idæa</i>	100	7	<i>Majanthemum bifolium</i>	84	7
» <i>myrtillus</i>	88	9	<i>Oxalis acetosella</i>	28	—
<i>Lycopodium annotinum</i>	44	3	<i>Listera cordata</i>	16	—
<i>Sorbus aucuparia</i>	4	—	<i>Trientalis europæa</i>	16	—
Mossor (Moose):			<i>Melampyrum silvaticum</i>	16	—
<i>Hylocomium proliferum</i>	100	41	<i>Luzula pilosa</i>	12	1
<i>Polytrichum commune</i>	100	37	<i>Calamagrostis</i> sp.	8	—
<i>Hylocomium parietinum</i>	96	15	<i>Solidago virgaurea</i>	4	0
<i>Hypnum crista castrensis</i>	44	6	<i>Goodyera repens</i>	4	—
<i>Dicranum scoparium</i>	16	—			
<i>Jungermania lycopodioides</i>	4	—			

5.

Degerfors socken, Västerbotten. En liten obetydlig bäckdal, blott en svacka, mellan Kulbäckslidens gård och skogskojan (se beskrivning 2). På sluttningen växer granen bättre än i omgivningen. I markvegetationen rikligt ekbräken. Tunni, delvis mullartad råhumus på morän. Nere i svackans botten blandning av gråal, gran och björk. Där prov 32 togs antecknades på marken ekbräken, midsommarsblomster, fjälltolta (steril), stenhallon, harsyra; kammossa, *Hylocomium proliferum*, *Dicranum*, björnmossa, trekantmossa. Markvegetationens sammansättning ovanför i sluttningen, där prov 31 togs, framgår av följande Raunkjær-analys:

31. VII. 1920. 25 cirkelytor om 1/10 m². Täckning skattad i fjärdedelar av småytorna. Analys av H. HESSELMAN och L.-G. ROMELL.

F% nach Aufnahme von 25 Kreisflächen à 1/10 m². A% nach Schätzung von Vierteln dieser Flächen.

Ris och trädplantor (Zwergsträucher, Baum- pflänzchen):	F %	A %		F %	A %
<i>Vaccinium myrtillus</i>	100	26	<i>Hepatica</i>	44	—
<i>Linnæa borealis</i>	100	—	<i>Polytrichum commune</i>	24	3
<i>Vaccinium vitis idæa</i>	96	—	Gräs och örter (Gräser und Kräuter):		
<i>Pyrola secunda</i>	40	—	<i>Aira flexuosa</i>	100	12
<i>Lycopodium annotinum</i> ...	28	—	<i>Dryopteris Linnæana</i>	96	10
<i>Picea excelsa</i>	4	—	<i>Majanthemum bifolium</i> ...	72	—
<i>Sorbus aucuparia</i>	4	—	<i>Trientalis europæa</i>	88	—
Mossor (Moose):			<i>Oxalis acetosella</i>	76	—
<i>Hylocomium proliferum</i> ...	100	35	<i>Luzula pilosa</i>	48	—
» <i>parietinum</i>	96	21	<i>Melampyrum silvaticum</i> ...	20	—
<i>Jungermania lycopodioides</i>	76	2	<i>Listera cordata</i>	12	—
<i>Dicranum</i>	68	3	<i>Melampyrum pratense</i> ...	4	—
<i>Hypnum crisia castrensis</i>	64	1	<i>Solidago virgaurea</i>	4	—
			<i>Geranium silvaticum</i>	4	—

6.

Degerfors socken, Västerbotten. Vacker växtlig medelålders skog av mest gran och asp, dessutom björk, på morän i liden ovanför Kulbäcks lidens by. Prov 14 togs under aspar, på marken mest löv, dessutom enstaka gullris och ekbräken. Prov 15 togs å öppen fläck med ekbräken, gullris, ekorrbär, duvkulla etc. Även här mycket löv. I augusti nästa år (anteckningen gjordes den 9. VIII. 1921) stod på samma ställe vatten upp i och fläckvis i små pussar över ytan, och det var omöjligt att få några markluftprov.

7.

Degerfors socken, Västerbotten. Växtlig blandskog av tall, gran och gråal på mjälbotten i liden ned mot Umeälven nära Näslands by. Mjälän genomdragen av rötter och lucker. Råhumus kan man knappt tala om; jorden tämligen mullartad. Markvegetationen frodig. Följande arter antecknades: rönn, lingon, blåbär (bägg sparsamt), björkvintergröna, linnéa; ekbräken, midsommarsblomster, ekorrbär, duvkulla, skogsfibla, härsyra, spindelblomster, vårfryle; mossor, sparsamt: björnmossa, stjärnmossa, *Hylocomium proliferum*.

8.

Kronoparken Gransjöberget, Degerfors socken och revir, Västerbotten. För trakten ovanligt vackert och resligt (granar upp till 25 m) växtligt granbestånd i stark sluttning (moräntäckt berg) ned mot den lilla sjön Djuptjärn. Å sluttningen framrinner en bäck. Provpunkterna ligga i en linje med början vid bäcken och fortsättning rätt ut från denna, hela tiden på ungefär samma höjd å sluttningen. Markvegetationens sammansättning å terrängen utom bäckens område framgår av följande Raunkiær-analys:

29. VII. 1921. 25 cirkelytor om 1/10 m². Täckning skattad i tiondelar av småytorna. Analys av H. HESSELMAN och L.-G. ROMELL.

F% nach Aufnahme von 25 Kreisflächen à $1/10 \text{ m}^2$, A% nach Schätzung von Zehnteln.

Ris och trädplantor (Zwergsträucher, Baum- pflänzchen):	F%	A%	Blad och barr (tote Blätter, Nadeln)	F%	A%
<i>Linnæa borealis</i>	100	2	Gräs och örter (Gräser, Kräuter):	—	14
<i>Vaccinium vitis idæa</i>	96	2	<i>Oxalis acetosella</i>	96	—
<i>Pyrola secunda</i>	92	2	<i>Dryopteris Linnæana</i>	88	8
<i>Vaccinium myrtillus</i>	72	8	<i>Majanthemum bifolium</i> ...	72	—
<i>Pyrola uniflora</i>	32	—	<i>Aira flexuosa</i>	32	1
<i>Sorbus aucuparia</i>	24	—	<i>Geranium silvaticum</i>	32	—
<i>Picea excelsa</i>	12	—	<i>Solidago virgaurea</i>	20	—
<i>Populus tremula</i>	4	—	<i>Trientalis europæa</i>	16	—
Mossor och lavar (Moose, Flechten):			<i>Luzula pilosa</i>	16	—
<i>Hylocomium proliferum</i> ...	92	50	<i>Goodyera repens</i>	12	—
» <i>parietinum</i> ...	68	12	<i>Carex digitata</i>	8	—
<i>Hypnum crista castrensis</i>	20	2	<i>Listera cordata</i>	4	—
<i>Peltigera malacea</i>	12	0	<i>Hieracium sp.</i>	4	—
			<i>Paris quadrifolia</i>	4	—

9.

Fagerheden, Piteå socken och revir, Norrbotten. Växligt blandbestånd av tall, gran, gråal, björk och rönne på sand i stark sluttning ned mot Rokån. På marken antecknades: enbuskar; blåbär, lingon, björkvintergröna, stenhallon, linnéa; ekbräken, kruståtel, vårfryle, hönsbär, gullris, ekorrbär, duvkulla, fräken, kovall; mossor, sparsamt: björnmossa, *Polytrichum juniperinum*, *Hylocomium parietinum*.

10.

Rokliden nära Fagerheden, Piteå socken och revir, Norrbotten. Växtlig och vacker björkblandad mossrik-örtrik granskog i liden mellan försöksfältet och Rokån. Proven togos i närheten av grundvattensbrunn 18 (jämförelsebrunn för mätningarna å försöksfältet). En fotografi av skogen vid lokalen i fråga återfinnes hos HESSELMAN 1910 b p. 103. Markvegetationen hyser rikligt med örter: ekbräken, hultbräken, skogsbräken, stenhallon, gullris, fjälltolta, harsyra etc. I bottenskiktet här och där enstaka vitmossfläckar. På många ställen är marken endast täckt av löv och mossor saknas alldeles eller så när som på en och annan stjärnmossa och levermossor. Markprofilen är en mulldjordsprofil.

11.

Kulbäckliden, Degerfors socken, Västerbotten. Vacker mossrik tallskog på sand nedanför byn. Markbetäckningen består mest av *Hylocomium parietinum* och lingonris.

12.

Åhedens kronopark, Degerfors socken och revir, Västerbotten. Skogsförsoксanstaltens försöksyta nr 93 i lavrik tallhed å en plan älvsandsterrass vid Vindelälven. Beståndet anses vara 75 år 1921. Nästan rent självsått tall-

bestånd med någon björk och marbuskar av gran. Medelhöjd av kvarvarande bestånd 13,2 m, medeldiameter 14,2 cm, 983 träd pr har.* Provytan är ytterst jämn och ensartad. Provpunkterna ligga med jämna mellanrum å en rät linje, som går diagonalt NW—SO över ytan. Markbetäckningens sammansättning framgår av följande Raunkiaer-analys.

1. VIII. 1921. 25 cirkelytor om 1/10 m². Täckning skattad i tiondelar. Analys av H. HESSELMAN och O. TAMM.

F% nach Aufnahme von 25 Kreisflächen à 1/10 m², A% nach Schätzung von Zehnteln.

Ris och trädplantor	F%	A%		F%	A%
(Zwergsträucher, Baumpflänzchen):			<i>Cladina rangiferina</i>	100	9
<i>Vaccinium vitis idæa</i>	100	6	<i>Cladonia</i>	88	1
<i>Calluna vulgaris</i>	64	5	<i>Stereocaulon paschale</i>	64	1
<i>Pinus silvatica</i>	32	—	<i>Cladina uncialis</i>	50	1
Gräs och örter (Gräser,			<i>Hylocomium parietinum</i> ...	44	2
Kräuter):.....	0	—	<i>Cetraria islandica</i>	20	—
Mossor och lavar			<i>Dicranum</i>	12	—
(Moose, Flechten):			<i>Polytrichum piliferum</i>	4	—
<i>Cladina silvatica</i>	100	10	Blad och barr (Laub,		
			Nadeln):	—	76

13.

Åhedens kronopark, Degerfors socken och revir, Västerbotten. Tallhed av mer mossrik typ på mjälsand. Uppfrysningssmark, ingen markprofil. Markvegetation enligt Raunkiaer-analys:

1. VIII. 1921. 20 cirkelytor om 1/10 m². Täckning skattad i tiondelar. Analys av H. HESSELMAN och O. TAMM.

F% nach Aufnahme von 20 Kreisflächen à 1/10 m², A% nach Schätzung von Zehnteln.

Ris (Zwergsträucher):	F%	A%		F%	A%
<i>Vaccinium vitis idæa</i>	100	16	<i>Cladina uncialis</i>	65	1
<i>Calluna vulgaris</i>	80	5	<i>Hylocomium parietinum</i> ...	50	6
Gräs och örter:	0	—	<i>Dicranum</i>	35	0,5
Mossor och lavar			<i>Polytrichum juniperinum</i>	20	—
(Moose, Flechten):			<i>Cetraria islandica</i>	10	—
<i>Cladina rangiferina</i>	100	19	<i>Stereocaulon paschale</i>	5	0,5
» <i>silvatica</i>	100	15	Blad och barr (Laub,		
<i>Polytrichum commune</i>	70	1	Nadeln)	—	59

14.

Fagerheden, Piteå socken och revir, Norrbotten. Gles, svärföryngrad tallhed på sand (beskrivning och avbildning hos HESSELMAN 1910 b p. 31 ff. samt fig. 1 och 4). Proven 56—57 togos intill Skogsförsöksanstaltens försöksyta (jfr. HESSELMAN 1917 p. 1245 ff. och fig. 9—10). Prov 56 togs i en ren-lavsfläck, prov 57 i en fläck med ljung. Å den senare punkten antagligen ortsten, ty sonden gick ej ner längre än till 25 cm. Prov 168 togs å en

* Dessa uppgifter liksom några andra nedan (beskr. 20, 23, 24) publicerade med vänligt tillstånd av prof. SCHOTTE.

annan del av heden å en särskilt utletad punkt med stark skenhälla, som genom sondering med en stenborr konstaterades vara sammanhängande å ett område med 10 m diameter runt omkring den punkt där provet togs.

15.

Tallhed å stenig morän ej långt från Långträsk station, Norrbotten. Markbetäckning ymnig renlav (*Cl. silvatica* och *rangiferina*), dessutom enstaka isländslav och å enstaka fläckar *Hylocomium parietinum*. Ris: lingon rikligt, blåbär rikl.—str., fläckvis kråkris. Enstaka fläckar med rikligt blåbär, strödda fläckar med ymnigt lingon, likaså med nästan ren renlav. Prov 164—165 togs i en renlavsfleck, prov 166—157 i fläckar med lingon och kråkris.

16.

Mossrik barrblandskog av lingontyp på mark med mäktig skenhälla vid Rosinedal, Degerfors socken och revir, Västerbotten. Lokalen beskriven hos TAMM 1920 p. 212—213. Proven togs något tiotal meter in i skogen från det grustag, som avbildas å TAMMS tavla 4, å två olika fläckar med en 5 m mellanrum. Där prov 163 togs var skenhällan hårdare så att sonden ej gick att klubba ner längre än 45 cm = 20 cm djupt i skenhällan.

17.

Område invid Kvarntjärns utlopp, Fagerheden, Piteå socken och revir, Norrbotten. Lokalen är beskriven av TAMM (1920 p. 217 ff., med karta fig. 21). Marken är mäktig sand, i vilken bildats en hård och mäktig skenhälla. De 5 undersökta punkterna ligga ungefär sålunda: fyra i hörnen av en kvadrat, vars östra sida bildas av väderstreckspilen å TAMMS karta, och den femte rätt öster om den sydostliga av dessa punkter på ett avstånd lika med kvadratens sida. Tre punkter ligga sålunda utom, två inom kartbilden.

18.

Ett stycke på andra sidan Rokån, räknat från förra lokalen, ligger en liten rismyr, som min hantlangare kallade Förstkavle, om jag uppfattade rätt. Nedåt stöter denna rismyr intill en liten ås av grusblandad sand. Åsen avskäres av en liten dal, där rismyren har sitt utlopp (detta är numera upprensat och myren rätt torr). I denna ända av åsen överallt eräll. Lokalen liknar ganska mycket den vid Kvarntjärnsravinen, och troligen är ortstenen allokton och betingad av genomslipprande vatten från rismyren. Där prov 174 togs hade markprofilen följande utseende: 7 cm blekjord, därunder omkring 35 cm klarröd rostjord, alltigenom mer eller mindre erällartad, men lös i jämförelse med lokal 17. Skogen på åsen består mest av gran. Markvegetationen är hedartad med renlav, dock rätt mycket mossor och blåbär och lingon.

19.

Liten ljunghedsbacke å kronojägarerbostället Klippan å Vallåsens kronopark i Våxtorps socken och Halmstads revir, Halland. Ovanför ligger en mosse, som rinner av genom ett surdrag strax intill (ett tiotal meter nedanför punkt 1). Ljungbacken är mycket låg, höjer sig knappt över mossens yta. Bland

ljungen snip (*Eriophorum alpinum*), blåttåtel, vidare renlav etc. Tynande små gula granar, 0,3—1 m höga vid 35 år. Längre bort från mossen, på slutningen bort ifrån denna, dock en tät grupp vackrare granar. Punkterna 1, 2, 2a, 3 och 4 ligga ungefär i en rät linje, ungefär parallell med mosskanten, punkt 1 närmast surdraget och punkt 4 högst. Punkt 5 ligger snett ut från linjen i gruppen av vackra granar. Vid punkterna 1, 2 och 3 grävdes och följande antecknades angående markprofilen:

Punkt 1: 10—15 cm ljungråhumus, svart, fast och seg, känns rätt fuktig trots torkan, därunder grå sand med oregelbundna starkt färgade rostflammar.

Punkt 2 (7 m från 1): 5 cm förna, 10 cm ljungråhumus, nedåt sandig (häri torde alltså vara inräknat en del av blekjorden). Nedanför grå sand med svarta partier.

Punkt 3 (5 m från 2): förna 5 cm, ljungråhumus 12 cm, övergår utan skarp gräns i smutsigt grått underlag.

Ett prov (238) togs ute å tuvullmossen ca 30 m från punktraden 1—3, i en tuva med ljung, blåttåtel och renlav.

20.

Helt nära förra lokalen. En ljunghedsbacke med för det mesta små usla (ej meterhöga vid 35 år) tynande gula granar, men här och där täta grupper av lika gamla granar som kommit sig bra på väg. Kubikmassemedelhöjden för en Skogsförsöksanstaltens försöksyta (nr 214) som är utlagd å lokalen ifråga har uträknats till 4,3 m år 1918. Hälften av träden å provytan nå emellertid ej brösthöjd. Ljungbacken sluttar ned mot samma mosse som stöter intill den förra lokalen (19).

Provpunkt 1 (prov 71, 202, 203) ligger i en tät grupp växtliga granar (4—6 m) å provytan. Ljungen är här tynande eller död och marken täckes av *Hylocomium parietinum*. Under mossmattan 3 cm förna, 5 cm gråsvart ljungråhumus.

Punkt 2 (prov nr 201) ligger 15 steg från 1 nedåt backen och punkt 3 (prov nr 69 och 70) ytterligare 5 steg nedåt, bägge bland dåliga granar. I markbetäckningen sågs utom ljung lingon, hönsbär och renlav. Markprofil vid punkt 3: 5 cm förna, 10 cm svart ljungråhumus, 10 cm svartflammig blekjord, ca 20 cm rostjord. Punkt 4 (prov 199—200) ligger ännu 5 steg nedåt backen bland dåliga granar i tät ljungmatta med blåbär, lingon, hönsbär, i bottenskiktet bägge *Hylocomia*, och punkt 5 fem steg nedom punkt 4 å likadan fläck med om möjligt ännu sämre granar. Punkterna 6 och 7 fortsätta ej linjen, utan ligga för sig rätt långt från de övriga i var sin grupp av vackra (upp till omkring 10 m höga) granar nere mot mosskanten. Vid punkt 6 är marken under granarna nästan naken med enstaka lingon och hönsbär, vid punkt 7 sågs gles skuggformig ljung, lingon, kruståtel, *Hylocomium parietinum*.

21.

Ljunghedssluttnings å Vallåsens kronopark (II. blocket, I. skiftet, avdelning 45, enligt benägen uppgift av kronoj. T. B. NILSSON) med gula och dåliga granar som vid 35 år äro ungefär så höga som ljungen (= upp till knät). Bland ljungen växer klockljung, lingon, blodrot, kornfibla, hönsbär (punkt 3),

snip, i bottenskiktet *Hylocomium parietinum* och renlav. Enbuskar förekomma ej. Små tallar, sådda 1914, ha ännu ej gjort någon effekt på granen.

Prov togos å fem punkter med 10 stegs avstånd efter en linje uppåt slutningen. Punkt 1 ligger alltså lägst, punkt 5 högst. Vid punkt 4 är ljungen kortare (3 dm) och renlaven rikligare. Vid punkt 1 och 4 grävdes och följande antecknades om markprofilen: punkt 1, ljungråhumus 13 cm, kolsvart jord 13 cm, rostbrun jord ungefär lika mycket, sedan gråfärgat material; punkt 4, ljungråhumus 6—8 cm, därunder grå, ej svart jord 13 cm, sedan gult-rostfärgat material med svarta flammor.

22.

Ljunghed med enbuskar, små tallar och små gula granar (självsådd) vid Ubbhult i Sätla socken, Västergötland, helt nära Ö änden av Tölö kronopark till Göteborgs revir. Bland ljungen växte pors, starr, duvkulla, lingon, blodrot, örnbräken. Ljungråhumus 5—10 cm, nedtill mullartad. Jorden kändes fuktig trots torkan, men ej våt.

23.

Statens Skogsförsöksanstalts försöksyta n:r 20:VI å Vallåsens kronopark, Våxtorps socken, Halmstads revir, Halland. Lavrik ljunghed med enbuskar, besådd med bergtall 1905. Har förut burit ett (självsått?) glest tallbestånd, som avverkats. Förutom de meterhöga bergtallarna, enbuskar och ljung observerades: rönntelningar, lingon, enstaka blåbär, kråkris, örnbräken, blodrot, vårfryle, duvkulla, stor blåklocka (?;steril), kruståtel, ekorrbär; *Hylocomium proliferum* och *parietinum*, *Dicranum*, renlav. Proven togos å fyra fläckar med fem stegs mellanrum.

24.

Statens Skogsförsöksanstalts försöksyta n:r 213, helt nära föregående, i kulturskog av gran å samma slags mark. Granbeståndet 31 år 1921, mycket tätt (kvarvarande bestånd 7 093 träd pr ha efter gallring 1918). Medelhöjd å det 1918 utgallrade 9 m, å kvarvarande bestånd 7 m (1918). Å marken glest mosstäckte av bägge *Hylocomia*, kammossa och *Dicranum*; dessutom iakttogos steril kruståtel och ett och annat svagt, sterilt blåbärsindivid. Råhumus torr, lucker, genomdragen av mycket rötter, ofta vitfiltig av svamphyfer, men ej bladig. Prov togos å fyra punkter med några stegs avstånd mellan punkterna.

25.

Lokal liknande föregående, ännu tätare kulturskog av gran å gammal ljunghed invid Klippans kronojägarboställe å Vallåsens kronopark. Beståndet ungefär lika högt och gammalt som föregående. Marken naken, endast täckt av barr.

26.

Dalby kronopark, Dalby socken, Norra Skånes revir, Skåne. Högproduktiv kulturgranskog å gammal ljunghed. Marken naken, endast täckt av barr.

27.

Hesslebohultet å Vallåsens kronopark (II. blocket, V. skiftet, avdelning 43) i Våxtorps socken och Halmstads revir, Halland. Gammal, gles bokskog med dålig växt och träden torkande i topparna. I markbetäckningen dominerar där proven togos blåbärsris. Marken mycket torvig: bokråhumus omkring 25 (15—30) cm, bladig, seg, rätt fuktig nedåt. Marken gungar under fötterna.

28.

Hallands Väderö, Skåne. Råhumusmark med dåliga bokar och lavig björk nära Sandhamn. På marken sågs blåbär, ljung, kråkris, rönn; kruståtel, vårfryle, duvkulla; trekantmossa. Omkring 5 cm råhumus, vid punkt 1 relativt lucker, vid punkt 2 seg, gråvit, hopfildad av svamphyfer.

29.

Bokskog på en fastmarksudde invid Kapellhamnskärrret, Hallands Väderö, Skåne. På marken växte harsyra, buskstjärnblomma, duvkulla, ekorrbär. Där proven togos endast löv på marken. På samma fläck bestämdes kolsyreavgivningen från marken, se tabell V. kap 5.

30.

Hallands Väderö, Skåne, under ekar (Kungseken). Underväxt av hassel och benved, fläckvis björnbärssnår. Frodig markvegetation av nässlor, skogssyska, fårkummer, vitsippor etc. Marken består av svaltall grus- och sandmaterial, växlande i kornstorlek från punkt till punkt. Vid punkt 1 (prov 79, 89) kan man säga att marken är en mycket stenig sandmylla. Prov 88 togs i en liten sluttning en bit ifrån; här ingen sand, endast grövre material.

31.

Dalby hage, Dalby, Skåne. Punkt 1—4 i blandskog av ädla lövträd på lermylla. Punkt 1 (prov 90): alm-ekskog; i markvegetationen dominerar skogsbingel (ymnig), dessutom enstaka häxört, fårkummer, nässlor. Punkt 2 (prov 91): en bit ifrån 1, kirskål och skogsbingel. Punkt 3 (prov 92): en bit ifrån, nästan endast häxört, något skogsbingel. Punkt 4 (prov 93): fläck med halon, skogssyska, manshöga nässlor, skogsbingel, i ung snårskog av hassel, björk, ask, hagtorn i en öppen glänta mellan gamla ekar och almar. Punkt 5 (prov 99): i en annan del av hagen; bokskog med skogsbingel.

32.

Övedskloster, Skåne. Välskött medelålders högproduktiv bokskog på bästa mark. Markvegetationen karaktäriseras av ramslök (ymnig), vitsippa, skogsbingel, majsmörblomma etc. Vid provtagningen var torkan så svår att bingeln stod och hängde och boklöv dråsade i förtid.

33.

Prestorpshultet, Vallåsens kronopark (II. blocket, III. skiftet, avdelning 9), Våxtorps socken, Halmstads revir, Halland. Bokskog på god bokmark, ingen råhumus eller endast antydan därtill. Brunjordsprofil, daggmack i jorden. Föryngring i luckor god utan markberedning. Marken täckt av vissna löv

eller med strödda harsyra, ekbräken, ekorrbär och enstaka skogssallat, vårfryle, rönnplantor, bokplantor, kruståtel, blåbär, ärenpris. Detta gäller punkt 1—2 (prov 217—218). Punkt 3 (prov 219) ligger ett stycke ifrån, på andra sidan backen, dock i samma skogsparti. Här någon cm tydlig råhumus och tydlig podsolprofil, mer gräs och mossor i markbetäckningen: kruståtel, ven, mjuktåtel, vårfryle, ärenpris, harsyra; björnmossa, *Dicranum* etc.

34.

Lövkärr vid Ostjärnsbäcken, Degerfors socken, Västerbotten. Trädbestånd: mest björk, dessutom gråal, gran, tall, rönn; buskskikt av höga viden. Frodig markvegetation av älggräs, vänderot, midsommarsblomster, tuvtåtel, borsttistel, fräken, kärrviol, småvintergröna, solöga, gullris, ekorrbär, duvkulla, konvalje, vårfryle, ormrot, maskros, ekbräken, harsyra; i bottenskiktet stjärnmossa. Bottnen är lera, men det är på sina ställen långt dit, ty marken är ofta hålig och liksom underminerad (överbuxna små rännilar?). Så vid punkt 2. Här växte mest ekbräken och av växter som ej förut blivit nämnda mjölke, stenhallon, trollbär, jämna, linnéa, en *Calamagrostis*; i bottenskiktet en *Dicranum* och *Hylocomium proliferum*.

35.

Kapellhamnskärret; Hallands Väderö, Skåne. Proven 80—82 togos på en fläck med naken kärrmull utan vegetation. De närmaste växterna voro blåstarr och kärrviol. Kärret var vid tillfället alldeles ovanligt torrt. Man kunde gå obehindrat var som helst utan att bli våt om fötterna. I vanliga fall står vattnet upp i eller över ytan.

36.

Lerbränna mellan Hvalftjälén och Kulbäcksliden, Degerfors socken, Västerbotten. Skogsbestånd mest tall, något gran, björk, gråal. I huvudsak blåbärsrik mossig tallskog. Vid punkt 2 förutom blåbär och mossor höga sterila mjölkeplantor, stenhallon, klostarr.

37.

Degerö Stormyr, Degerfors socken och revir, Västerbotten. Myrkomplexet skildras ingående hos MALMSTRÖM 1922. Prov 11 och 55 togos i *fuscum*-tuvor på myren rätt utanför kojan (jfr beskrivning 2), prov 16 i en sträng å samma del av myren (vitmossa med rosling, hjortron, små tallar etc.). Prov 37 och 38 togos i en risosse med dvärgbjörk och dålig tall strax SW om Stormyrtjälén i närheten av den å MALMSTRÖMS karta utmärkta källan.

38.

Kulturmärken, samtliga i Degerfors socken, Västerbotten. Prov 19 togs å en gårdsplan vid Näsland (invid Umeälven). Marken fin mjällig älvssand, provet togs invid en gödselhög bland feta och frodiga groblad. Prov 23 togs i ett potatisland på älvssand strax intill. Prov 29 stammar från en backslutning vid Kulbäcksliden, starkt påverkad av kreaturstramp och betning och täckt med kort snaggig gräsmatta med bl. a. stagg och en och annan liten fläck med insprängd vitmossa. Prov 147 och 148 togos i en linda vid Kulbäcksliden och 149—150 i en havreåker strax intill.

AvD VI.

TABELLER.

luftanalyser ur litteraturen.

luftanalysen aus der Literatur.

E x t r e m e r, v o l y m p r o c e n t								K ä l l a Q u e l l e	
O ₂				CO ₂					
Max.	Tid Monat	Min.	Tid Monat	Max.	Tid Monat	Min.	Tid Monat		
1	19,7	—	10,4	—	9,7	—	0,9	—	Boussingault & Léwy 1853.
2	20,0	—	19,5	—	1,1	—	0,7	—	» » » »
3	—	—	—	—	—	—	—	—	» » » »
4	—	—	—	—	0,9	—	0,8	—	» » » »
5	—	—	—	—	1,2	—	0,5	—	» » » »
6	—	—	—	—	0,2	—	0,2	—	» » » »
7	—	—	—	—	0,2	—	0,1	—	Pettenkofer 1871.
8	—	—	—	—	2,0	VII	0,03	I	D:o 1871 o. 1873, Wolfshügel 1879.
9	—	—	—	—	2,8	VII, VIII	0,2	I, II, V	» » » » »
10	—	—	—	—	1,1	VI	0,1	II	Risler 1872—73 i Schlösing 1891.
11	—	—	—	—	2,1	VI, IX	0,4	»	» » » » »
12	20,2	XI	16,2	VIII	5,8	IX	0,4	XII	Fleck 1873 och 1874 a.
13	17,9	»	15,8	VI	6,5	X	1,4	II	» » » »
14	17,0	V	14,8	VIII	8,1	»	1,9	»	» » » »
15	—	—	—	—	1,1	VII	0,1	XII, II	» » » »
16	—	—	—	—	0,7	»	0,1	I	» » » »
17	—	—	—	—	0,6	»	0,1	»	» » » »
18	—	—	—	—	1,1	IX	0,4	V	Lewis & Cunningham 1874 (ref. Renk 1876).
19	—	—	—	—	1,2	IX, I	0,7	III	» » » »
20	—	—	—	—	—	—	—	—	Pettenkofer 1875.
21	—	—	—	—	—	—	—	—	» »
22	—	—	—	—	—	—	—	—	» »
23	—	—	—	—	—	—	—	—	» »
24	19,4	—	18,9	—	3,4	VII	0,7	III	Fodor 1875.
25	19,6	—	17,6	—	6,1	»	1,5	IV	» »
26	9,8	—	7,5	—	14,3	»	6,9	III	» »
27	—	—	—	—	1,7	»	0,0	II	» »
28	—	—	—	—	3,3	»	0,4	»	» »
29	—	—	—	—	0,7	—	0,2	—	Nichols 1875—76 (ref. Renk 1876).
30	—	—	—	—	0,2	—	0,1	—	» » » » »
31	—	—	—	—	2,0	VIII	0,2	I	» » » » »
32	—	—	—	—	2,1	»	0,2	»	» » » » »
33	—	—	—	—	0,6	—	0,3	—	Smolensky 1877.
34	—	—	—	—	0,6	—	0,1	—	» »
35	—	—	—	—	10,6	—	3,9	—	» »
36	—	—	—	—	5,5	—	3,8	—	» »
37	—	—	—	—	3,2	VIII ¹	0,5	I ¹	Ebermayer 1877, 1878 & 1890.
38	—	—	—	—	3,0	VII ¹	0,2	III ¹	» » » » »
39	—	—	—	—	0,2	VI, I ¹	0,07	IX, X ¹	» » » » »
40	—	—	—	—	0,6	VII, IX ¹	0,2	II ¹	» » » » »
41	—	—	—	—	0,6	VII ¹	0,3	II, X ¹	» » » » »
42	—	—	—	—	3,8	IX ¹	0,2	II ¹	» » » » »
43	—	—	—	—	3,9	» ¹	0,4	II ¹	» » » » »
44	—	—	—	—	1,9	VIII ¹	0,4	III ¹	» » » » »
45	—	—	—	—	1,0	» ¹	0,4	IV ¹	» » » » »
46	—	—	—	—	2,8	» ¹	0,3	I, III ¹	» » » » »

werte sind Extreme der Monatsmittel, nicht Einzelbestimmungen.

E x t r e m e r, v o l y m p r o c e n t								K ä l l a Q u e l l e			
O ₂				CO ₂							
Max.	Tid Monat	Min.	Tid Monat	Max.	Tid Monat	Min.	Tid Monat				
—	—	—	—	1,2	VIII	0,4	XI	Ebermayer 1877, 1878 & 1890.			
—	—	—	—	1,7	VII, VIII	0,4	»				
—	—	—	—	1,5	VIII	0,5	»				
—	—	—	—	2,0	VII	—	—				
22,1	VII	18,9	II	1,0	I, II	0,3	I, IV, XII	»			
20,6	V	18,3	VI	2,1	I	0,6	I				
20,9	I	18,7	I	1,8	II, V	0,3	»				
17,3	II	11,3	VI	13,3	VII	4,4	II				
21,0	XI	17,0	I	4,6	»	0,7	I	»			
20,6	II	7,2	VI	15,2	»	2,5	II				
21,0	XI, XII, II	19,0	II	1,5	I	0,02	XI				
20,8	XII, I	14,9	VI	8,3	VII	0,02	»				
21,0	XI	18,0	II	2,1	VI	0,2	II	»			
19,7	I	9,8	VI	11,6	VII	2,3	I				
—	—	—	—	0,3	—	0,1	—				
—	—	—	—	2,2	—	1,4	—				
—	—	—	—	0,7	VI, XI	0,1	VI, XI	J. Möller 1879.			
—	—	—	—	1,3	VI	0,1	VI				
—	—	—	—	3,8	—	0,2	—				
—	—	—	—	3,7	—	0,2	—				
—	—	—	—	0,7	—	0,1	—	Bentzen 1882.			
20,8	—	18,4	—	2,7	—	0,1	—				
21,0	—	13,2	—	8,8	—	0,4	—				
20,8	—	10,1	—	11,4	—	0,7	—				
20,2	IV	17,7	VIII	2,0	VIII	0,4	IV	Mangin 1896.			
20,4	»	13,5	»	4,3	»	0,4	»				
20,2	»	18,1	V	1,1	V	0,2	»				
19,5	VII	15,1	IV	4,9	VI	1,5	»				
19,5	IV	10,4	V	8,4	V	1,4	»	»			
19,5	—	15,3	—	6,0	—	1,2	—				
—	—	0,0	—	24,8	—	—	—				
21,0	X, XII	20,5	IV	0,2	VII	0,0	II				
20,9	XII	20,4	III	0,4	»	0,1	»	Lau 1906.			
20,8	»	19,1	VIII	0,7	»	0,1	»				
21,0	»	20,3	III	0,3	»	0,1	»				
20,9	XII, II	20,0	VII	0,6	»	0,1	»				
20,9	XII	19,3	VIII	1,4	VIII	0,2	»	»			
20,8	»	19,8	VII	0,8	VII	0,1	XII				
20,7	II	19,2	IX	1,4	VIII	0,3	II				
19,9	»	16,0	VIII	4,4	»	0,8	»				
21,0	VIII, X	20,2	»	0,8	»	0,1	X	»			
20,9	V, VIII	20,6	VII, IX	0,4	VII	0,1	VI				
21,0	IX, X	19,6	VIII	1,0	X	0,1	X				
20,9	VII, VIII	20,4	VI	0,4	»	0,1	VIII				
20,6	—	18,5	—	2,0	—	0,1	—	Vageler 1906.			
19,1	—	17,3	—	2,8	—	1,5	—				
20,9	—	12,8	—	4,4	—	0,1	—				
20,3	—	11,4	—	6,1	—	0,5	—				
20,4	IV ¹	19,6	VII ¹	0,3	VII ¹	0,1	IV ¹	Albert 1912.			
20,2	IV ¹	19,5	V ¹	0,4	» ¹	0,2	» ¹				
20,0	VIII ¹	19,5	VII ¹	0,5	» ¹	0,2	» ¹				
20,2	IX ¹	19,4	VI ¹	0,3	» ¹	0,1	» ¹				
20,3	IV ¹	19,7	VI ¹	0,4	» ¹	0,1	» ¹				
20,1	IV ¹	19,7	VII ¹	0,4	» ¹	0,2	» ¹				

werte sind Extreme der Monatsmittel, nicht Einzelbestimmungen.

E x t r e m e r, v o l y m p r o c e n t								K ä l l a Q u e l l e	
O ₂				CO ₂					
Max.	Tid Monat	Min.	Tid Monat	Max.	Tid Monat	Min.	Tid Monat		
1	2,8	XI	0,0	VIII—XII	20,9	VIII	1,4	VIII	Harrison & Aiyer 1913.
2	1,4	IX	0,0	IX, XI	5,9	X	1,3	»	» » » »
3	2,2	VIII	0,0	VIII—X	4,0	»	1,6	XI	» » » »
4	5,7	»	0,0	IX—XI	5,1	»	1,4	VIII	» » » »
5	21,0	VII	18,8	V	1,7	V	0,3	I, IX	Russell & Appleyard 1915.
6	20,6	X	2,6	IV	9,1	IV	0,4	VIII	» » » »
7	20,5	VII, VIII	10,6	V	3,9	V	0,4	»	» » » »
8	20,8	X	17,6	»	2,3	»	0,2	IX	» » » »
9	20,8	IX	19,8	VI	0,8	IV	0,1	III, IX	» » » »
10	21,1	XI	20,4	XII	0,4	X	0,0	IV	» » » »
11	21,3	X	19,9	VI	0,5	VI	0,0	III	» » » »
12	—	—	—	—	1,9	IX	0,3	V	Sen 1920.
13	—	—	—	—	1,1	VII	0,2	III	» »
14	—	—	—	—	0,5	IX	0,1	V	» »
15	—	—	—	—	—	—	—	—	Gaarder och Hagem 1921.
16	—	—	—	—	—	—	—	—	» » » »
17	—	—	—	—	—	—	—	—	» » » »
18	—	—	—	—	—	—	—	—	» » » »
19	—	—	—	—	—	—	—	—	» » » »
20	—	—	—	—	—	—	—	—	» » » »
21	—	—	—	—	—	—	—	—	» » » »
22	18,7	(XII)	18,6	(V)	0,3	(XII)	0,0	(V)	» » » »
23	20,8	(VIII)	20,2	(VI)	0,8	(VIII)	0,5	(VI)	» » » »
24	—	—	—	—	—	—	—	—	» » » »
25	—	—	—	—	—	—	—	—	» » » »
26	—	—	—	—	—	—	—	—	» » » »
27	20,6	(VI)	20,4	(VIII)	0,4	(VIII)	0,0	(VI)	» » » »
28	19,0	(VIII)	18,4	(VI)	2,7	(»)	0,5	(»)	» » » »

sfärisk luft.

sphärische Luft.

E x t r e m e r, v o l . %						K ä l l a Q u e l l e
O ₂		CO ₂				
Max.	Min.	Max.	Tid Monat	Min.	Tid Monat	
1 2 3 4 5 6 7 8 9	21,00 20,86 — — — — — — —	— — 0,048 0,039 0,037 0,035 0,031 — 0,141	— — X XI — — — — 2	— — 0,022 0,025 0,028 0,009 0,014 — 0,030	— — I, III VIII — — — — 3	HEMPEL 1887. ¹ SELANDER 1888. PALMQVIST 1892. » » » » o. TROILI-PETERSSON 1898. TROILI-PETERSSON 1898. RUSSELL 1884.

emellertid numeriskt motsvaras av den av HEMPEL anbefallda korrektionen 0,03 i motsatt riktning. —
HEMPEL angegebene Korrektion in entgegengesetzter Richtung.

Tab. XIII. Markluftanalyser från svenska

Bodenluftanalysen aus schwedischen

Provets nummer Nr der Probe	Datum för provtagningen Tag der Probe- nahme	Analyserat efter dagar Analyse nach Tagen	Landskap Provinz	L o k a l Lokalität	Jämför Lokalbeskrivning nr Vgl. Lokaltätsbeskrivning Nr	Djup under markytan Tiefe unter d. Oberfläche cm	Enkel- Einzel-
							O ₂ vol.-%
30	28. VIII. 1920	0	Vb	A. Torra råhumusgranskogar: Trockene Rohhumusfichtenwälder: Gammal skog på bättre mark (enbuskar, örter)	I	15	20,6; 20,4
124	12. VIII. 1921	1	»	Gammal oväxtlig skog, blåbärsfläck.....	»	15	20,6; 20,5
125	»	»	»	d:o, samma fläck	»	30	20,1; 20,3
126	»	»	»	d:o, »	»	60	20,3; 20,2; 20,0; 20,3
127	»	»	»	d:o, annan » (<i>proliferum</i>) ...	»	15	20,3; 20,4
128	»	2	»	d:o, samma »	»	27	20,2; 20,3
129	»	»	»	d:o, » »	»	75	20,3; 20,3; 20,4
46	2. IX. 1920	0	»	Hygge; solbränd <i>proliferum</i>	2	15	20,8; 20,6
40	31. VIII. 1920	»	»	Se kartan; blandtuva av <i>pariet.</i> + björnm. ...	»	10	20,2; 20,2
41	»	»	»	» björnmossa + lingon	»	10	20,0; 20,0
51	3. IX. 1920	»	»	» <i>prolif.</i> + <i>pariet.</i> + björnm.....	»	15	20,5; 20,3
52	»	»	»	» + » + kamm., blåb., ling., kråkr. ...	»	15	20,9
53	»	»	»	» <i>pariet.</i> nästan ren	»	30	20,2
54	»	»	»	» björnm., lingon, <i>Linnaea</i>	»	15	19,7
111	5. VIII. 1921	3	»	» <i>prol.</i> + <i>par.</i> + kamm., blåb., krustätel	»	15	20,3; 20,4
112	»	»	»	» d:o, samma fläck	»	30	20,5; 20,5
113	»	»	»	» d:o, »	»	45	20,2; 20,2
114	»	1	»	» <i>prol.</i> + <i>par.</i> + björnm., ljung, blåb., kråkr. ...	»	15	19,8; 20,0
115	»	»	»	» d:o, samma fläck	»	30	19,5; 19,5
116	»	»	»	» d:o, »	»	50	19,2; 19,1
117	»	»	»	» <i>prol.</i> + <i>par.</i> + björnm.	»	15	18,8; 18,7
118	»	»	»	» d:o, samma fläck	»	30	17,2; 16,8; 16,8
119	»	»	»	» d:o, »	»	45	16,3; 16,3
120	9. VIII. 1921	0	»	» kamm., <i>prol.</i> , björnm., <i>Dicranum</i>	»	15	20,4; 20,3
130	12. VIII. 1921	2	»	Liknande, bättre skog (lövbland.), punkt 1..	»	15	20,4; 20,4
131	»	2; 3	»	d:o, »	»	75	20,1; 20,0; 20,1
136	15. VIII. 1921	4	»	d:o, »	»	15	20,1; 20,2
137	»	»	»	d:o, »	»	75	20,3; 20,2
132	12. VIII. 1921	3	»	d:o, » 3... ..	»	15	19,6; 19,6
133	»	4	»	d:o, »	»	30	16,8; 16,9
193	26. VIII. 1921	2	Nb	Skog med svår råhumus, punkt 4	3	15	19,9; 19,8
181	24. VIII. 1921	»	»	d:o, »	»	56	19,2; 19,2
192	26. VIII. 1921	1	»	d:o, » 5	»	15	19,9; 20,0
182	24. VIII. 1921	2	»	d:o, »	»	50	19,9; 19,8

skogsmarker och några andra marker.

Waldböden und einigen anderen Böden.

värden werte	Antagna värden Akzeptierte Werte		Anmärkningar Bemerkungen	Nederbörd föregående vecka Niederschlag in der vorigen Woche mm	Nederbörd föregående 2 veckor Niederschlag in den vorigen 2 Wochen mm
	CO ₂ vol.-%	O ₂ vol.-%			
O ₁ ; O ₁	20,5	O ₁	Värdena gälla två olika prov från olika fläckar.....	0	11
O ₂ ; O ₂ O ₃ ; O ₃ O ₅ ; O ₄ ; O ₃ ; O ₃ O ₂ ; O ₃ O ₄ ; O ₃ O ₃ ; O ₄ ; O ₃	20,5 20,2 20,2 20,4 20,2 20,3	O ₂ O ₃ O ₄ O ₂ O ₄ O ₃	{ samma hål samma hål }	21 » » » » »	56 » » » » »
O ₀ ; O ₀	20,7	O ₀		0	0
O ₅ ; O ₄ O ₃ ; O ₆ O ₃ ; O ₄ O ₀ O ₈ O ₇ O ₃ ; O ₃ O ₂ ; O ₂ O ₄ ; O ₄ O ₅ ; O ₅ O ₇ ; O ₇ O ₇ ; O ₇ I ₆ ; I ₇ I ₆ ; I ₆ ; I ₄ I ₂ ; I ₂ O ₄ ; O ₄	20,2 20,0 20,4 21 20 20 20,3 20,5 20,2 19,9 19,5 19,2 18,8 16,9 16,3 20,4	O ₅ O ₅ O ₃ O I I O ₃ O ₂ O ₄ O ₅ O ₇ O ₇ I ₆ I ₅ I ₂ O ₄	några cm ned i moränen » » » » » ned till moränen » » » ned i moränen... { samma hål; på 60 cm vatten }	0 » 0 » » » 36 » » » » » » » » » 24	1 » 0 » » » 62 » » » » » » » » » 56
O ₃ ; O ₃ O ₄ ; O ₅ ; O ₅ O ₃ ; O ₂ O ₃ ; O ₃ O ₇ ; O ₈ I ₅ ; I ₅	20,4 20,1 20,2 20,2 19,6 16,8	O ₃ O ₅ O ₂ O ₃ O ₈ I ₅	intet vatten » » » » { samma hål } » » på 60 och 75 cm endast vatten något vatten	21 » 9 » 21 »	56 » 34 » 56 »
O ₆ ; O ₅ I ₁ ; I ₂ O ₁ ; O ₁ O ₇ ; O ₉	19,8 19,2 19,9 19,8	O ₅ I ₁ O ₁ O ₈	10 cm ned i moränen någon cm ned i moränen	2 0 2 0	11 9 11 9

Provetnummer Nr der Probe	Datum för provtagningen Tag der Probe- nahme	Analyserat efter dagar Analyse nach Tagen	Landskap Provinz	L o k a l Lokalität	Jämför lokalbeskrivning nr Vgl. Lokalitätsbeskrivung Nr	Djup under markytan Tiefe unter d. Oberfläche cm	Enkel- Einzel-
							O ₂ vol.-%
				B. Skog i lider med rikligare örter: Wälder auf geneigtem Boden mit mehr Kräutern:			
12	19. VIII. 1920	o	Vb	Dålig lavig granskog med rik markflora ...	4	20	15,8; 15,8
17	20. VIII. 1920	»	»	D:o, 1/2 m från första punkten.....	»	20	17,9; 18,2
18	»	»	»	D:o, samma fläck	»	30	17,7
33	30. VIII. 1920	»	»	D:o, »	»	15	19,9; 19,9; 19,7
13	19. VIII. 1920	»	»	D:o, annan punkt 7 m ifrån.....	»	25	19,2; 19,8
34	30. VIII. 1920	»	»	D:o, samma fläck som 13, 1 m ifrån.....	»	15	20,1; 20,4
35	»	»	»	D:o, en 3. fläck.....	»	15	19,8; 20,1; 20,1
36	»	I	»	D:o, en 4. fläck (blåb., ingen ekbräken) ...	»	?	20,7; 20,7
31	28. VIII. 1920	o	»	Medelmåttig granskog i en svacka	5	15	20,0; 20,4
32	»	»	»	Samma svackas botten under gråal	»	15	20,3; 20,5
132	12. VIII. 1921	3	»	Medelmåttig gran med björkblandning	2	15	19,6; 19,6
133	»	4	»	» » »	»	30	16,8; 16,9
14	20. VIII. 1920	o	»	Vacker lövblandad medelålders gran	6	15	19,8; 20,0
15	»	»	»	D:o, annan fläck	»	20	20,4; 20,2
20	25. VIII. 1920	»	»	Växtlig blandskog på mjälbotten	7	15	20,6
21	26. VIII. 1920	»	»	D:o, annan fläck	»	15	20,0; 20,5
22	»	»	»	D:o, »	»	15	20,4; 20,4
102	3. VIII. 1921	I	»	Mycket vacker granskog i stark sluttning ...	8	15	20,7; 20,6
103	»	»	»	D:o, samma fläck	»	30	20,4; 20,5; 20,4
104	»	»	»	D:o, »	»	45	19,9; 20,1
105	»	»	»	D:o, 3 steg ifrån föregående	»	15	20,1; 20,4
106	»	»	»	D:o, samma fläck	»	30	20,1; 20,4; 20,3
107	»	2	»	D:o, 9 steg från föregående.....	»	15	20,8; 20,8
108	»	»	»	D:o, samma fläck	»	30	20,3; 20,2
109	»	»	»	D:o, 5 steg från föregående	»	15	20,8; 20,7
110	»	»	»	D:o, 4 steg från föregående	»	15	20,7; 20,6
58	12. IX. 1920	o	Nb	Växtlig blandskog i sluttning på sand.....	9	35	20,5
59	»	»	»	Granlid med riklig örtvegetation, brunjord...	10	30	20,3
183	26. VIII. 1921	»	»	D:o, i en vitmosstuva	»	15	19,9; 19,9
184	»	I	»	D:o, samma fläck	»	50	18,6; 18,6
185	»	»	»	D:o, fläck med örter och löv	»	15	19,3; 19,3
186	»	»	»	D:o, samma fläck	»	55	18,6; 18,5; 18,3
187	»	»	»	D:o, annan fläck, granna örter, enst. vitm.	»	15	20,1; 20,0
188	»	»	»	D:o, samma fläck	»	45	19,2; 19,1
189	»	»	»	D:o, annan likadan fläck	»	15	20,2; 20,1
190	»	»	»	D:o, fläck strax intill.....	»	30	19,5; 19,2; 19,3
191	»	»	»	D:o, vitmossfleck, strax intill	»	15	19,8; 19,7

värden werte	Antagna värden Akzeptierte Werte		Anmärkingar Bemerkungen	Nederbörd föregående vecka Niederschlag in der vorigen Woche	Nederbörd föregående 2 veckor Niederschlag in den vorigen 2 Wochen
	CO ₂ vol.-%	O ₂ vol.-%		mm	mm
I,7; I,4; I,5 I,2; I,1; O,5 I,4; O,6 I,0; O,8; I,0 O,3; O,1 O,4; O,4 O,7; O,4; O,6 O,0; O,0	15,8 18 18 19,9 ? 20 20,0 20,7	I,5 I I I,0 O,2 O,4 O,6 O,0	på 35 cm vatten I på 35 cm endast vatten..... O ? O ? ?	12 11 O 12 O ? ?	33 » » 33 I » »
O,0; O,0 O,2; O,1	20 20,4	O,0 O,1	värdena gälla två olika prov från olika fläckar	O »	11 »
O,7; O,8 I,5; I,5	19,6 16,8	O,8 I,5	på 60 och 75 cm endast vatten något vatten	21 »	56 »
O,1; O,2 O,2; O,0	19,9 20,3	O,2 O,1	aug. 1921 vatten upp i och över ytan, så att inga luftprov kunde fås.....	11 »	33 »
O,0 O,0; O,0 O,3; O,0	21 20 20,4	O O,0 O,1		O » »	12 » »
O,1; O,1 O,8; O,5; O,6 O,6; O,5 O,2; O,2 O,4; O,5; O,4 O,1; O,1 O,4; O,4 O,1; O,1 O,2; O,2	20,6 20,4 20,0 20,3 20,2 20,8 20,2 20,7 20,7	O,1 O,6 O,6 O,2 O,4 O,1 O,4 O,1 O,2	samma hål; 2 m från bäcken; 1 m ifrån bäcken på 15 cm vatten..... } på 45 och 60 cm vatten } på 30 cm vatten..... » » » »	32 » » » » » » » »	61 » » » » » » » »
O,5	20 ¹ / ₂	1 ¹ / ₂		11	11
O,4 O,6; O,7 I,5; I,4 O,7; O,8 I,2; I,1; I,1 O,6; O,6 O,9; O,9 O,4; O,4 O,9; I,2; I,1 O,5; O,6	20 19,9 18,6 19,3 18,4 20,0 19,2 20,2 19,3 19,8	1 ¹ / ₂ O,6 I,5 O,8 I,1 O,6 O,9 O,4 I,1 O,5	grundvattenstånd lägre än 1,9 m vatten med provet..... endast luft annan likadan punkt på 15 cm endast vatten endast luft intet vatten » » en del vatten med provet.....	» 2 » » » » » » »	» 11 » » » » » » »

Provets nummer Nr der Probe	Datum för provtagningen Tag der Probe- nahme	Analyserat efter dagar Analyse nach Tagen	Landskap Provinz	L o k a l Lokalität	Jämför lokalbeskrivning nr Vgl. Lokaltätsbeschreibung Nr	Djup under markytan Tiefe unter d. Oberfläche cm	Enkel- Einzel- O ₂ vol. %
				C. »Hotad» och försumpad granskog: Fichtenwald mit <i>Sphagnum</i> , feucht bis versumpft:			
39	31. VIII. 1920	0	V b	Se kartan; björnm.-tuva.....	2	15	12,4; 12,0
42	2. IX. 1920	»	»	» » ; vitm.-tuva	»	5	20,3; 20,4
43	»	»	»	» » ; björnm.-tuva	»	15	15,4; 15,8
121	9. VIII. 1921	»	»	» » ; prol.-tuva	»	15	20,3; 20,2; 20,2
122	»	»	»	» » ; björnm.-tuva	»	15	16,0; 15,8
123	»	»	»	» » ; björnm., prol., par.	»	15	16,2; 16,1
44	2. IX. 1920	»	»	» » ; björnm., klotstarr, lingon	»	15	11,4; 11,6; 11,6
45	»	»	»	» » ; vitm., björnm., kråkris, lingon ...	»	15	18,5; 18,6
47	3. IX. 1920	»	»	» » ; vitm., hjortr., klotst., kråkr., odon	»	25	1,7
48	»	»	»	» » ; d:o, samma fläck	»	15	20,7
49	»	»	»	» » ; d:o, en annan fläck	»	15	0,9
50	»	»	»	» » ; samma lokal, torrare vitm.-tuva...	»	15	16,7; 16,7
144	17. VIII. 1921	1	»	» » ; i moränen under I m. torv	»	140	14,5; 14,4
145	»	2	»	» » ; » » » » » » »	»	160	12,5; 12,5
134	12. VIII. 1921	4	»	Liknande, bättre skog, punkt 4, se beskrivn.	»	15	13,3; 13,4
135	»	»	»	d:o , » 4a, » »	»	25—30	8,1; 7,9
138	15. VIII. 1921	2	»	d:o , » 5, » »	»	15	3,4; 3,4
139	»	»	»	d:o , » » , » »	»	15	3,5; 3,6
139a	»	1	»	d:o , » » , » »	»	30	0,4
140	»	»	»	d:o , » » , » »	»	45	1,0; 1,1
141	»	»	»	d:o , » » , » »	»	15	19,6; 19,6
142	»	»	»	d:o , » » , » »	»	30	0,8
196	26. VIII. 1921	9	Nb	Dålig skog, men torrare, punkt 1	3	15	19,6; 19,6
178	24. VIII. 1921	2	»	d:o , » »	»	50	15,6; 15,6
195	26. VIII. 1921	9	»	d:o , » 2	»	15	20,0; 19,8
179	24. VIII. 1921	2	»	d:o , » »	»	60	17,9; 17,4; 17,9
194	26. VIII. 1921	9	»	d:o , » 3	»	15	19,7; 19,6
180	24. VIII. 1921	2	»	d:o , » »	»	50	18,8; 18,6
				D. Tallskogar: Kiefernwälder:			
28	27. VIII. 1920	0	Vb	Mossrik tallskog på sand	11	25	20,6
151	20. VIII. 1921	1	»	Tallhed på älvsand, punkt 1	12	15	20,6; 20,7
152	»	»	»	d:o , » 2	»	15	20,7; 20,7
153	»	»	»	d:o , » »	»	60	20,5; 20,6
154	»	»	»	d:o , » 3	»	15	20,5; 20,7
155	»	»	»	d:o , » »	»	60	20,6; 20,5
156	»	»	»	d:o , » 4	»	15	20,7; 20,6
157	»	2	»	d:o , » »	»	75	20,7; 20,6
158	»	»	»	d:o , » 5	»	15	20,5; 20,5
159	»	»	»	d:o , » »	»	75	20,5; 20,4

värden werte	Antagna värden Akzeptierte Werte		Anmärkningar Bemerkungen	Nederbörd föregående vecka Niederschlag in der vorigen Woche	Nederbörd föregående 2 veckor Niederschlag in den vorigen 2 Wochen
	CO ₂ vol.-%	O ₂ vol.-%		mm	mm
3,1; 3,3 0,2; 0,3 2,4; 2,2 0,4; 0,3; 0,3 2,4; 2,6 2,7; 2,8 2,6; 3,2; 2,9 1,6; 1,6 5,7 0,1 5,4 1,6; 1,9 3,5; 3,7 0,9; 0,8	12,2 20,3 15,6 20,2 15,9 16,2 11,5 18,6 2 21 1 16,7 14,5 12,5	3,2 0,2 2,3 0,3 2,5 2,8 3 1,6 6 0 5 1,7 3,6 0,8	ned till moränen; på större djup vatten 5 cm djupare vatten ned till moränen; vatten + luft 30 cm endast vatten..... ned till moränen ned till moränen; mest smutsigt vatten endast luft mest vatten , en liten luftblåsa..... endast luft mest vatten , några små luftblåsor	0 0 » 24 » 0 » » » 21 »	1 0 » 56 » 0 » » 45 »
3,0; 3,0 5,7; 5,7 3,3; 3,5 2,7; 2,7 1,6 1,1; 0,6 1,0; 1,0 3,2	13,4 8,0 3,4 3,5 1/2 1,0 19,6 1	3,0 5,7 3,4 2,7 2 1 1,0 3	på 5 ställen å 30 cm endast vatten, på ett å 15 cm likaså mest vatten vatten med provet..... ned till moränen; något svart vatten } samma 15 cm ned i moränen; mest vatten , något luft } håll mest vatten intet vatten med provet..... mest vatten ; en liten luftblåsa.....	21 » 9 » » » » »	56 » 34 » » » » »
0,8; 0,9 2,8; 2,7 0,8; 0,9 1,2; 1,1; 1,1 0,5; 0,6 1,8; 1,6	19,6 15,6 19,9 17,9 19,7 18,7	0,9 2,8 0,8 1,1 0,6 1,7	10 cm ned i moränen 5 » » » 5 » » » »	2 0 2 0 2 0	11 9 11 9 11 9
0,0	21	0		0	11
0,1; 0,1 0,0; 0,0 0,2; 0,3 0,1; 0,1 0,2; 0,1 0,1; 0,1 0,1; 0,2 0,1; 0,2 0,1; 0,1	20,6 20,7 20,5 20,6 20,6 20,6 20,6 20,5 20,4	0,1 0,0 0,2 0,1 0,2 0,1 0,1 0,1 0,1		23 » » » » » » » »	47 » » » » » » » »

Provets nummer Nr der Probe	Datum för provtagningen Tag der Probe- nahme	Analyserat efter dagar Analyse nach Tagen	Landskap Provinz	L o k a l Lokalität	Jämför lokalbeskrivning nr Vgl. Lokaltätsbeschreibung Nr	Djup under markytan Tiefe unter d. Oberfläche cm	Enkel- Einzel-
							O ₂ vol. %
160	20. VIII. 1921	2	Vb	Tallhed på mjälsand	13	15	20,5; 20,5
161	»	»	»	d:o	»	75	20,5; 20,3
56	12. IX. 1920	0	Nb	Dålig tallhed på sand	14	30	20,8
57	»	»	»	d:o	»	25	20,8
168	24. VIII. 1921	1	»	d:o d:o med skenhälla	»	75	20,3; 20,4
164	22. VIII. 1921	»	»	Tallhed på morän	15	15	20,6; 20,5
165	»	»	»	d:o » »	»	45	20,1; 20,3
166	»	»	»	d:o » »	»	15	20,4; 20,4
167	»	»	»	d:o » »	»	52	20,0; 19,8
				E. Ortstensmarker: Ortsteinböden:			
162	20. VIII. 1921	1	Vb	Älvsand med mäktig alloktion ortsten	16	65	20,2; 20,0; 19,9
163	»	»	»	d:o annan fläck	»	45	19,8; 19,7; 19,7
168	24. VIII. 1921	»	Nb	Tallhed på sand med autokton ortsten	14	75	20,3; 20,4
169	»	»	»	Sand med mäktig alloktion ortsten	17	75	20,1; 19,9
170	»	»	»	d:o, annan punkt	»	80	19,4; 19,3
171	»	»	»	d:o, » »	»	70	19,4; 19,3
172	»	»	»	d:o, » »	»	80	20,1; 20,1
173	»	»	»	d:o, » »	»	85	20,1; 20,0
174	»	»	»	Grusblandad sand med ortsten	18	85	19,6; 19,5
175	»	»	»	d:o, annan punkt	»	85	19,7; 19,8
176	»	»	»	d:o, » »	»	90	19,8; 19,8; 19,9
177	»	»	»	d:o, » »	»	95	19,8; 19,8
178	»	2	»	Morän med humusortsten (punkt 1)	3	50	15,6; 15,6
179	»	»	»	d:o (» 2)	»	60	17,9; 17,4; 17,9
				F. Dåliga ljunghedar: Schlechte Heiden:			
60	3. VI. 1921	0	HI	Vid en mosse; punkt 1 (usel gran)	19	60	19,4; 19,5
235	10. IX. 1921	1	»	d:o, 1 m från punkt 1 (» »)	»	30	8,6; 8,6
61	3. VI. 1921	0	»	d:o, » 2 (» »)	»	50	20,0; 20,1
236	10. IX. 1921	1	»	d:o, 1 » » » (» »)	»	30	16,9; 16,9; 16,9
75	5. VI. 1921	0	»	d:o, punkt 2a mellan 2 och 3	»	25	20,0; 20,0
62	3. VI. 1921	»	»	d:o, » 3 (usel gran)	»	75	13,6; 13,9
63	»	»	»	d:o, » » (» »)	»	25	18,2; 18,3
237	10. IX. 1921	1	»	d:o, 1 m från punkt 3 (usel gran)	»	30	4,1; 4,2

värden werte	Antagna värden Akzeptierte Werte		Anmärkningar Bemerkungen	Nederbörd föregående vecka Niederschlag in der vorigen Woche	Nederbörd föregående 2 veckor Niederschlag in den vorigen 2 Wochen
	CO ₂ vol.-%	O ₂ vol.-%		mm	mm
O ₂ ; O ₂ O ₃ ; O ₂	20,5 20,4	O ₂ O ₃		23 »	47 »
O ₁ O ₀ O ₄ ; O ₁	21 21 20,4	O O O ₃	20 cm under skenhällan	11 » 0	11 » 9
O ₃ ; O ₃ O ₄ ; O ₄ O ₁ ; O ₁ O ₆ ; O ₈	20,5 20,2 20,4 19,9	O ₃ O ₄ O ₁ O ₇		3 » » »	31 » » »
O ₅ ; O ₄ ; O ₄ I ₀ ; O ₈ ; O ₈	20,0 19,7	O ₄ O ₉	25 cm ned i skenhällan 20 cm » » »	23 »	47 »
O ₄ ; O ₁	20,4	O ₃	20 cm under »	0	9
O ₄ ; O ₄ I ₂ ; I ₂ I ₂ ; I ₂ O ₄ ; O ₃ O ₆ ; O ₅	20,0 19,4 19,4 20,1 20,1	O ₄ I ₂ I ₂ O ₃ O ₅	40 cm ned i »	» » » » »	» » » » »
O ₉ ; O ₉ O ₆ ; O ₆ O ₆ ; O ₆ ; O ₆ O ₈ ; O ₈	19,5 19,7 19,8 19,8	O ₉ O ₆ O ₆ O ₈		» » » »	» » » »
2,8; 2,7 I ₂ ; I ₁ ; I ₁	15,6 17,9	2,8 I ₁		» »	» »
I ₄ ; I ₃ 4,3; 4,4 O ₇ ; O ₈ 2,4; 2,7; 2,3 I ₀ ; O ₉ 3,8; 3,6; 3,0 2,2; 2,1 5,1; 5,1	19,5 8,6 20,1 16,9 20,0 13,7 18,3 4,2	I ₃ 4,3 O ₈ 2,4 I ₀ 3,7 2,1 5,1	ny sond nedstucken bredvid den andra, som satt kvar något svart vätska med provet	15 3 15 3 1 15 » 3	15 21 15 21 16 15 » 21

Provets nummer Nr der Probe	Datum för provtagningen Tag der Probe- nahme	Analyserat efter dagar Analyse nach Tagen	Landskap Provinz	L o k a l L o k a l i t ä t	Jämför lokalbeskrivning nr Vgl. Lokaliätsbeschreibung Nr	Djup under markytan Tiefe unter d. Oberfläche cm	Enkel- Einzel-
							O ₂ vol.-%
74	5. VI. 1921	O	HL	Vid en mosse; punkt 4 (usel gran).....	19	25	20,6; 20,5
72	»	»	»	d:o » 5 (bra unggranar) ...	»	25	20,3; 20,4
73	»	»	»	d:o » » (» ») ...	»	40	20,4; 20,4
71	4. VI. 1921	»	»	Bra grangrupp å dålig yta (punkt 1)	20	25	20,3
202	5. IX. 1921	I	»	d:o (» »)	»	15	20,3; 20,5
203	»	»	»	d:o (» »)	»	55	21,1; 19,9; 19,9
201	»	»	»	Bland dålig gran, samma yta (punkt 2)	»	15	19,9; 19,9
69	4. VI. 1921	O	»	» » » , » » (» 3)	»	25	20,6; 20,6
70	»	»	»	» » » , » » (» »)	»	50	20,5; 20,7
199	5. IX. 1921	I	»	» » » , » » (» 4)	»	15	19,8; 19,8
200	»	»	»	» » » , » » (» »)	»	60	19,4; 19,3
197	»	»	»	» » » , » » (» 5)	»	15	19,9; 19,9; 20,1
198	»	»	»	» » » , » » (» »)	»	60	19,8; 19,9
204	»	»	»	Bra grangrupp å » » (» 6)	»	15	20,4; 20,6
205	»	»	»	» » » » » (» »)	»	60	20,2; 20,5; 20,3
206	»	»	»	» » » » » (» 7)	»	15	19,0; 18,9; 19,0
207	»	2	»	» » » » » (» »)	»	55	18,3; 18,4
208	7. IX. 1921	O	»	Fält med usel gran, punkt 1	21	15	20,2; 20,3; 20,3
209	»	»	»	d:o , » »	»	60	18,1; 18,2
210	»	»	»	d:o , » 2	»	15	17,4; 17,5; 17,5
211	»	I	»	d:o , » 3	»	15	19,2; 19,2
212	»	»	»	d:o , » »	»	60	9,1
213	»	»	»	d:o , » 4	»	15	19,4; 19,2
214	»	»	»	d:o , » »	»	60	17,4
215	»	»	»	d:o , » 5	»	15	19,5; 19,4
216	»	»	»	d:o , » »	»	60	10,7
227	8. IX. 1921	I	HL	Bergtallplanterad ljunghed, punkt 1	23	15	20,3; 20,5
228	»	»	»	d:o , samma punkt ...	»	60	20,1; 20,1
229	»	»	»	d:o , punkt 2	»	15	20,4; 20,3
230	»	»	»	d:o , » »	»	60	20,4; 20,2
231	»	»	»	d:o , » 3	»	15	20,3; 20,1; 20,2
232	»	»	»	d:o , » »	»	60	20,3; 20,3
233	»	»	»	d:o , » 4	»	15	20,4; 20,5
234	»	»	»	d:o , » »	»	60	20,2; 20,2
100	14. VII. 1921	O	Vg	Fält med (dålig) självsädd (tall, gran)	22	30	20,4; 20,6
101	»	»	»	d:o, annan fläck	»	30	20,7; 20,6

värden werte	Antagna värden Akzeptierte Werte		Anmärkningar Bemerkungen	Nederbörd föregående vecka Niederschlag in der vorigen Woche	Nederbörd föregående 2 veckor Niederschlag in den vorigen 2 Wochen
	CO ₂ vol.-%	O ₂ vol.-%		mm	mm
O ₃ ; O ₄ O ₈ ; O ₆ O ₇ ; O ₆	20,6 20,4 20,4	O ₃ O ₇ O ₆	samma hål	I	16
				»	»
				»	»
O ₇ O ₅ ; O ₃ O ₄ ; O ₆ ; O ₈ O ₆ ; O ₆ O ₅ ; O ₅ O ₅ ; O ₄ O ₈ ; O ₈ O ₆ ; O ₅ O ₅ ; O ₅ ; O ₄ O ₇ ; O ₆ O ₂ ; O ₁ O ₃ ; O ₃ I ₂ ; I ₇ ; I ₄ I ₈ ; I ₈	20 20,4 19,9 19,9 20,6 20,6 19,8 19,3 19,9 19,9 20,5 20,3 19,0 18,4	I O ₄ O ₆ O ₆ O ₅ O ₄ O ₈ O ₆ O ₅ O ₆ O ₁ O ₃ I ₃ I ₈	på 60 cm nästan endast vatten	15 17 » » 15 » 17 » » » » » » »	15 34 » » 15 » 34 » » » » » » »
O ₃ ; O ₄ ; O ₄ O ₆ ; O ₇ 2,0; 2,1; 2,2 I ₂ ; I ₂ 2,3 I ₃ ; I ₃ I ₅ I ₀ ; I ₀ O ₅	20,3 18,2 17,5 19,2 9 19,3 17 19,5 11	O ₄ O ₆ 2,1 I ₂ 2 I ₃ I _{1/2} I ₀ 1/2	mest vatten..... på 45 och 60 cm endast vatten	7 » » » » » » » »	34 » » » » » » » »
O ₁ ; O ₂ O ₃ ; O ₄ O ₃ ; O ₄ O ₃ ; O ₃ O ₄ ; O ₄ ; O ₅ O ₅ ; O ₄ O ₃ ; O ₂ O ₄ ; O ₄	20,4 20,1 20,3 20,3 20,2 20,3 20,4 20,2	O ₂ O ₃ O ₃ O ₃ O ₄ O ₄ O ₃ O ₄		6 » » » » » » »	34 » » » » » » »
I ₀ ; O ₅ O ₂ ; O ₄	20,5 20,6	I O ₃		— —	— —

Provets nummer Nr der Probe	Datum för provtagningen Tag der Probe- nahme	Analyserat efter dagar Analyse nach Tagen	Landskap Provinz	L o k a l Lokalität	Jämför lokalbeskrivning nr Vgl. Lokalitätsbeschreibung Nr	Djup under markytan Tiefe unter d. Oberfläche cm	Enkel Einzel
							O ₂ vol. %
G. Lyckade ljunghedsplanteringar: Geglückte Heidepflanzungen:							
220	8. IX. 1921	2	HI	Vacker 31-årig kulturgranskog å ljunghedsmark...	24	15	20,2; 20,2
221	»	»	»	d:o , samma punkt	»	60	19,7; 19,8
222	»	»	»	d:o , punkt 2	»	15	20,1; 20,1
223	»	»	»	d:o , » »	»	55	19,3; 19,4
224	»	»	»	d:o , » 3	»	15	20,2; 20,1
225	»	»	»	d:o , » »	»	60	19,8; 19,8
226	»	»	»	d:o , » 4	»	60	20,0; 19,9
64	4. VI. 1921	0	»	Likn. vacker kulturgranskog å ljunghedsmark	25	25	20,7; 20,7
96	13. VII. 1921	»	Sk	Högproduktiv kulturgranskog å gammal ljunghedsmark ...	26	30	20,7; 20,7
97	»	»	»	d:o , samma punkt	»	50	20,7; 20,5
98	»	»	»	d:o , annan »	»	40	20,6; 20,8
H. Råhumusbokskogar: Rohhumusbuchenwälder:							
65	4. VI. 1921	»	HI	Ymnigt blåbär, mycket torvig mark.....	27	25	20,2; 20,2
66	»	»	»	d:o , samma fläck, punkt 1	»	55	20,4; 20,5
239	10. IX. 1921	6	»	d:o , 2 steg åt sidan	»	15	20,0; 19,8
240	»	»	»	d:o , samma fläck	»	55	19,3; 19,1; 19,1
241	»	I	»	d:o , mitt emellan 1 och 2	»	60	19,5; 19,2
67	4. VI. 1921	0	»	d:o , punkt 2, 8 steg från 1	»	70	20,4; 20,3
68	»	»	»	d:o , » » » » »	»	25	20,7
242	10. IX. 1921	I	»	d:o , 2 steg åt sidan från 2	»	15	19,9; 20,1
243	»	»	»	d:o , » » » » »	»	60	19,4; 19,3
83	6. VII. 1921	0	Sk	Mager skog, men mindre torv. mark, blåbärsfläck	28	30	20,8; 20,8
84	8. VII. 1921	»	»	d:o , d:o	»	30	20,4; 20,4
85	9. VII. 1921	»	»	d:o, punkt 2 (nästan endast blåbär)	»	30	20,7; 20,7
86	»	»	»	d:o, » » (» » » »)	»	45	20,6; 20,6
87	»	»	»	d:o, » 3 (ljunghedsfläck)	»	30	20,9; 20,7
76	4. VII. 1921	»	»	Bättre bokskog, ej blåbär	29	15	20,7
77	»	»	»	d:o , samma fläck.....	»	30	20,8
78	»	»	»	d:o , » »	»	60	—
219	7. IX. 1921	I	HI	Bra bokskog, mycket tunn råhumus	33	60	19,9; 19,6
I. Lövskogar med mull: Laubwälder mit Mullboden:							
79	5. VII. 1921	0	Sk	Ek, hassel etc. på stenig sandmylla.....	30	20	20,8; 20,8
89	9. VII. 1921	»	»	d:o, annan fläck	»	18	20,5; 20,5

värden werte	Antagna värden Akzeptierte Werte		Anmärkingar Bemerkungen	Nederbörd föregående vecka Niederschlag in der vorigen Woche	Nederbörd föregående 2 veckor Niederschlag in den vorigen 2 Wochen
	CO ₂ vol.-%	O ₂ vol.-%		mm	mm
0,5; 0,5 0,9; 0,9 0,6; 0,5 1,4; 1,4 0,4; 0,4 0,8; 0,7 0,6; 0,7	20,2 19,8 20,1 19,3 20,2 19,8 20,0	0,5 0,9 0,5 1,4 0,4 0,8 0,7		6 » » » » » »	34 » » » » » »
0,3; 0,4	20,7	0,4		15	15
0,3; 0,2 0,2; 0,3 0,1; 0,1	20,7 20,6 20,7	0,3 0,3 0,1	samma hål	0 » »	12 » »
0,6; 0,7 0,5; 0,5 0,6; 0,7 1,1; 1,3; 1,4 1,2; 1,3 0,4; 0,5 0,1 0,6; 0,6 1,1; 1,3	20,2 20,5 19,9 19,1 19 20,4 21 20,0 19,3	0,6 0,5 0,7 1,3 1,3 0,5 0 0,6 1,2	ny sond nedstucken invid den andra, som satt kvar... samma hål	15 » 3 » » 15 » 3 »	15 » 21 » » 15 » 21 »
0,1; 0,2 0,3; 0,4 0,2; 0,1 0,2; 0,3 0,0; 0,2	20,8 20,4 20,7 20,6 20,8	0,2 0,3 0,1 0,2 0,1	samma hål; sonden satt kvar under mellantiden samma hål	0 » » » »	0 » » » »
0,2; 0,19 0,2; 0,36 0,42	21 21 —	0,2 0,4 0,4	CO ₂ -analyserna med 2 decimaler utförda med en annan apparat, se avd. I kap. 5	0 » »	11 » »
0,7; 0,8	19,7	0,8		7	34
0,1; 0,1 0,4; 0,5	20,8 20,5	0,1 0,5		0 »	0 »

Provets nummer Nr der Probe	Datum för provtagningen Tag der Probe- nahme	Analyserat efter dagar Analyse nach Tagen	Landskap Provinz	L o k a l L o k a l i t ä t	Jämför lokalbeskrivning nr Vgl. Lokalitätsbeschreibung Nr.	Djup under markytan Tiefe unter d. Oberfläche cm	Enkel- Einzel-
							O ₂ vol.-%
88	9. VII. 1921	o	Sk	Stenur med skogssyska, nässlor etc.	30	12	20,6; 20,7
90	11. VII. 1921	»	»	Ädla lövträd på lernmylla, punkt 1	31	27	20,0; 20,4
91	»	»	»	d:o , » 2	»	30	20,3
92	»	»	»	d:o , » 3	»	22	20,6; 20,6
93	»	»	»	d:o , » 4	»	25	20,5; 20,6
99	13. VII. 1921	»	»	Bokskog på lernmylla, skogsbingel	»	30	20,3; 20,4
94	12. VII. 1921	»	»	Högproduktiv bokskog med ramslök	32	20	20,5; 20,4
95	»	»	»	d:o	»	30	20,4; 20,5
217	7. IX. 1921	1	HI	Bokmark på gränsen till råhumus	33	55	20,2; 20,2
218	»	»	»	d:o, punkt 2	»	60	20,3; 20,2
K. Lövkärr: Laubbrüche:							
24	27. VIII. 1920	o	Vb	Björk-gråal-kärr vid en bäck.....	34	10	20,5; 20,7
25	»	»	»	d:o, punkt 2	»	20	20,7
80	6. VII. 1921	»	Sk	Alkärr, naken kärrmull	35	15	20,7
81	»	»	»	d:o	»	30	19,7
82	»	»	»	d:o strax intill	»	45	16,4
L. Lerbränna: Mischwald auf flachem Lehmboden:							
26	27. VIII. 1921	»	Vb	Blandskog med mest tall, punkt 1	36	10	20,4
27	»	»	»	d:o , » 2	»	15	20,0
M. Mossar: Moore:							
11	18. VIII. 1920	»	Vb	Vitmoss-(<i>fuscum</i>)-tuva på myr	37	10	20,2
55	3. IX. 1920	»	»	d:o	»	?	19,6
16	20. VIII. 1920	1	»	Sträng på samma myr	»	25	20,3; 20,1
37	31. VIII. 1920	o	»	Rismosse	»	c:a 30	20,6; 20,4
37a	»	»	»	d:o , annat ställe	»	c:a 30	20,6
38	»	»	»	d:o , » »	»	c:a 30	20,8; 20,8

värden werte	Antagna värden Akzeptierte Werte		Anmärkningar Bemerkungen	Nederbörd föregående vecka Niederschlag in der vorigen Woche	Nederbörd föregående 2 veckor Niederschlag in den vorigen 2 Wochen
	CO ₂ vol.-%	O ₂ vol.-%		mm	mm
O ₃ ; O ₃	20,7	O ₃		0	0
O ₅ ; O ₄ O ₅ ; O ₆ O ₄ ; O ₄ O ₅ ; O ₄	20,2 20 20,6 20,6	O ₄ O ₅ O ₄ O ₄		0 » » »	13 » » »
O ₅ ; O ₅	20,4	O ₅		0	12
O ₅ ; O ₄ O ₅ ; O ₃	20,5 20,4	O ₅ O ₄		0 »	13 »
O ₄ ; O ₄ O ₃ ; O ₄	20,2 20,3	O ₄ O ₄		7 »	34 »
O ₁ ; O ₀ O ₀	20,6 21	O ₁ 0	på 20 och 15 cm gick ej att suga i leran	0 »	11 »
O ₂ 1,0 2,0	21 20 16	0 1 2	samma hål; på 60 cm enbart vatten	0 » »	0 » »
O ₁ O ₈	20 20	0 1	på andra ställen gick ej att suga i leran på 10 och 15 cm	0 »	11 »
O ₀ 1,9 O ₁ ; O ₀	20 20 20,2	0 2 O ₀	vatten + luft mest vatten, något luft något vatten	12 0 11	41 0 33
O ₂ ; O ₃ O ₀ O ₀ ; O ₀	20,5 21 20,8	O ₂ 0 O ₀	djup obestämbar, markytan obestämd. På 3 andra punkter på samma djup endast vatten	0 » »	1 » »

Provets nummer Nr der Probe	Datum för provtagningen Tag der Probe- nahme	Analyserat efter dagar Analyse nach Tagen	Landskap Provinz	L o k a l Lokalität	Jämför lokalbeskrivning nr Vgl. Lokaltätsbeskrivning Nr	Djup under markytan Tiefe unter d. Oberfläche cm	Enkel- Einzel-
							O ₂ vol.-%
143	15. VIII. 1921	1	Vb	Tallmosse, i moränen under 0,7 m torv	2	80	10,7
146	17. VIII. 1921	2	»	d:o , » » » I m »	»	145	6,7
144	»	1	»	Gransumpskog, i » » I m »	»	140	14,5; 14,4
145	»	2	»	d:o , i » » I m »	»	160	12,5; 12,5
238	10. IX. 1921	1	Hl	Tuvmosse, ljung-blåtåtel-tuva	19	15	17,7; 17,6
N. Gräsmark:							
Rasen:							
19	20. VIII. 1920	0	Vb	Gårdsplan, vid gödselhög	38	20	18,8; 19,0
29	27. VIII. 1920	1	»	Betad kotrampad sluttning med stagg	»	15	19,4; 19,5
147	19. VIII. 1921	3	»	Linda	»	15	19,3; 19,1; 19,1
148	»	»	»	d:o	»	45	19,0; 19,2
O. Åkrar:							
Ackerland:							
23	26. VIII. 1920	0	»	Potatisland	»	15	20,5; 20,5
149	19. VIII. 1921	3	»	Havreåker	»	15	19,6; 19,7
150	»	»	»	d:o	»	45	19,6; 19,6

Förklaringar till tab. XIII.

Erklärungen zur Tabelle XIII.

björnm. = björnmossa = *Polytrichum commune*.
 blåb. = blåbär = *Vaccinium myrtillus*.
 blåtåtel = *Molinia caerulea*.
 ekbräken = *Dryopteris Linnæana*.
 hjortr. = hjortron = *Rubus chamaemorus*.
 kamm. = kammossa = *Hypnum crista castrensis*.
 klotst. = klotstarr = *Carex globularis*.

kruståtel = *Aira flexuosa*
 kråkr. = kråkris = *Empetrum nigrum*.
 ling. = lingon = *Vaccinium vitis idæa*.
 ljung = *Calluna vulgaris*.
 par. = *Hylocomium parietinum*.
 prol. = » *proliferum*.
 vitm. = vitmossa = *Sphagnum*.

Hl = Halland; Nb = Norrbotten; Sk = Skåne (»Schonen»); Vb = Västerbotten; Vg = Västergötland.

annan (fläck, punkt) = ein anderer (Fleck, Punkt).
 blandtuva av = Mischpolster von.
 bra gran = gute Fichten.
 (oo cm) djupare = (oo cm) tiefer.
 endast, enbart (vatten, luft) = nur (Wasser, Luft).

gick ej att suga i leran = im Lehm unmöglich
 zu saugen.
 grundvattenstånd = Grundwasserstand.
 intet vatten = kein Wasser [mit der Probe].
 likadan (fläck, punkt) = ein gleicher (Fleck, Punkt).

värden värde	Antagna värden Akzeptierte Werte		Anmärkningar Bemerkungen	Nederbörd föregående vecka Niederschlag in der vorigen Woche mm	Nederbörd föregående 2 veckor Niederschlag in den vorigen 2 Wochen mm
	CO ₂ vol.-%	O ₂ vol.-%			
2,6 I,9	II 7	3 2	mest vatten	9 21	34 45
3,5; 3,7 0,9; 0,8	14,5 12,5	3,6 0,8	» »	»	»
2,9; 2,7	17,6	2,8	vatten + luft; annan punkt samma djup endast vatten	3	21
I,5; I,5	19	I,5		11	33
I,4; I,4	19,4	I,4		0	11
I,4; I,4; I,4 I,5; I,5	19,2 19,1	I,4 I,5		26 »	47 »
0,1; 0,1	20,5	0,1		0	12
0,9; 0,9 0,7; 0,7	19,6 19,6	0,9 0,7		26 »	47 »

likaså = desgleichen.

en liten luftblåsa = ein Luftbläschen.

mest vatten = hauptsächlich Wasser.

ned i (moränen, skenhällan) = in (die Moräne, den Ortstein) hinein.

ned till (moränen) = bis an (die Moräne).

ny sond nedstucken invid den andra.... = neue

Sonde, während die alte stecken blieb.

någon cm = ein paar cm.

något = ein wenig.

några små luftblåsor = ein paar Luftbläschen.

nåstan ren = fast rein.

på 00 cm = in 00 cm Tiefe.

på större djup = in grösserer Tiefe.

samma (fläck, punkt, djup) = derselbe (Fleck, Punkt, Tiefe).

samma hål = dasselbe Loch [d. h. die tiefer ge-

holte Probe wurde nach weiterem Eintreiben der Sonde ohne vorheriges Ausziehen gesaugt].

se kartan = siehe die Karte [fig. 11].

skenhälla = Ortstein.

smutsigt = schmutzig [von Detrituspartikeln etc.].

solbränd = sonnengebranntes.

00 steg från föregående = 00 Schritte vom vorigen Punkt.

svart vätska = schwarze [durch Humusteilchen gefärbte] Flüssigkeit.

under = unter.

usel gran = sehr schlechte kleine Fichten.

vatten = Wasser [mit der Probe].

värdena gälla två olika prov = die Werte betreffen zwei versch. Proben.

Im übrigen wird auf die Lokalitätsbeschreibungen (Teil V) verwiesen.

Tab. XIV. Nederbörds- och temperatursiffror.

Niederschlags- und Temperaturziffern.

A. Månadssummor av nederbörd (Monatssummen von Niederschlag) i hela mm.

	Fagerheden			Kulbäcksliden			Lund ³		Halmstad ³	
	1920	1921	norm. ¹	1920	1921	norm. ²	1921	norm.	1921	norm.
April	42	16	27	40	22	26	24	36	16	36
Maj	22	23	23	29	35	28	20	40	39	48
Juni	29	38	42	21	86	52	64	54	47	58
Juli	66	65	65	107	71	61	43	71	38	88
Augusti	64	146	72	47	111	54	102	72	138	104
September	41	28	65	34	29	59	47	57	26	72

B. Dagsvärden av samlad nederbörd från 1 och 2 förflutna veckor (7 N resp. 14 N) samt dagens temperaturavvikelse från normaltemperaturen (TD) i hela °C. — Tageswerte des akkumulierten Niederschlags für 1 und 2 vorausgehende Wochen (7 N bzw. 14 N); Abweichungen der Tagestemperatur (TD) von der normalen, °C.

		Fagerheden				Kulbäcksliden				Stensele		Båstad—Knäred		Hall. Väderö		Lund		Halmstad
		1920		1921		1920		1921		1920	1921	1921 ⁴		1921		1921		1921
		7 N	14 N	7 N	14 N	7 N	14 N	7 N	14 N	TD	TD	7 N	14 N	7 N	14 N	7 N	14 N	TD
Juni	3 ...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	15	—	—	—	—	+ 7
»	4 ...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	15	—	—	—	—	+ 7
»	5 ...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	16	—	—	—	—	+ 4
Juli	4 ...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	11	—	—	0
»	5 ...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0	—	—	— 3
»	6 ...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0	—	—	— 1
»	8 ...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0	—	—	0
»	9 ...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0	—	—	+ 1
»	11 ...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	13	+ 3
»	12 ...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	13	— 1
»	13 ...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	12	— 1
Aug.	3 ...	—	—	—	—	—	—	32	61	—	+ 3	—	—	—	—	—	—	—
»	5 ...	—	—	—	—	—	—	36	62	—	— 1	—	—	—	—	—	—	—
»	9 ...	—	—	—	—	—	—	24	56	—	0	—	—	—	—	—	—	—
»	12 ...	—	—	—	—	—	—	21	56	—	+ 2	—	—	—	—	—	—	—
»	15 ...	—	—	—	—	—	—	9	34	—	+ 3	—	—	—	—	—	—	—
»	17 ...	—	—	—	—	—	—	21	45	—	0	—	—	—	—	—	—	—
»	18 ...	—	—	—	—	12	41	—	—	— 3	—	—	—	—	—	—	—	—
»	19 ...	—	—	—	—	12	33	26	47	— 3	— 2	—	—	—	—	—	—	—
»	20 ...	—	—	—	—	11	33	23	47	— 2	+ 1	—	—	—	—	—	—	—
»	22 ...	—	—	3	31	—	—	—	—	—	— 1	—	—	—	—	—	—	—
»	24 ...	—	—	0	9	—	—	—	—	—	+ 1	—	—	—	—	—	—	—
»	25 ...	—	—	—	—	0	12	—	—	+ 1	—	—	—	—	—	—	—	—
»	26 ...	—	—	2	11	0	12	—	—	— 1	— 3	—	—	—	—	—	—	—
»	27 ...	—	—	—	—	0	11	—	—	— 1	—	—	—	—	—	—	—	—
»	28 ...	—	—	—	—	0	11	—	—	— 2	—	—	—	—	—	—	—	—
»	30 ...	—	—	—	—	0	1	—	—	— 4	—	—	—	—	—	—	—	—
»	31 ...	—	—	—	—	0	1	—	—	— 2	—	—	—	—	—	—	—	—
Sept.	2 ...	—	—	—	—	0	0	—	—	0	—	—	—	—	—	—	—	—
»	3 ...	—	—	—	—	0	0	—	—	+ 1	—	—	—	—	—	—	—	—
»	5 ...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17	34	—	—	—	—	— 3
»	7 ...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	34	—	—	—	—	+ 2
»	8 ...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	34	—	—	—	—	0
»	10 ...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	21	—	—	—	—	+ 5
»	12 ...	11	11	—	—	—	—	—	—	0	—	—	—	—	—	—	—	—

¹ Medeltal av (Mittel von) 16 år (1906—1921).² » » (» ») 11 » (1911—1921).³ Enligt (nach) Månadsöversikt av väderlek och vattentillgång (Met.-hydr. anst.).⁴ Medeltal av (Mittel von) Båstad och Knäred.

LITTERATURFÖRTECKNING.

Zitierde Literatur.

(W. F. = Wollnys Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik; Z. F. u. J. W. = Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen; Z. = Zeitschrift.)

- ABERSON, J. H., 1910, Ein Beitrag zur Kenntniss der Natur der Wurzelausscheidungen. — Jahrb. wiss. Bot. 47, p. 41.
- ALBERT, R., 1912, Bodenuntersuchungen im Gebiete der Lüneburger Heide. Z. F. u. J. W. 44, p. 2, 136, 353, 655.
- ARMSTRONG, G. F., 1880, On the diurnal variation in the amount of carbon dioxide in the air. — Proc. Roy. Soc. 30, p. 343. — ref. W. F. 3, 1880, p. 507.
- BARAKOV, P., 1910, The carbon dioxide content of soils during different stages of growth of plants. Zhur. Opuit. Agron. 11, 3, p. 321. — ref. Exp. Sta. Rec. 23, 1910, p. 523.
- BENNET, M. E., 1904, Are roots aërotropic? — Bot. Gaz. 37, p. 241.
- BENTZEN, G. E., 1882, Die Kohlensäure in der Grundluft. — Z. Biol. 18, p. 446.
- BERGMAN, H. F., 1920, The relation of aëration to the growth and activity of roots and its influence on the ecesis of plants in swamps. — Ann. Bot. 34, p. 13.
- 1921, The effect of cloudiness on the oxygen content of water and its significance in cranberry culture. — Am. Journ. Bot. 8, p. 50.
- BOEHM, J., 1873, Über den Einfluss der Kohlensäure auf das Ergrünen und Wachstum der Pflanzen. — Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Wien, Math.-nat. Cl., Abt. I, 68, p. 171.
- 1885, Über die Ursache des Absterbens der Götterbäume und über die Methode der Neubepflanzung der Ringstrasse in Wien. — Wien. — ref. GRÄBNER 1901 p. 79, SORAUER 1909 p. 99.
- BOLTZMANN, L., 1910—1912, Vorlesungen über Gastheorie. — Leipzig.
- BONNIER, G. et MANGIN, L., 1884, Recherches sur la respiration et la transpiration des tissus sans chlorophylle. — Ann. Sc. nat. Bot. 6:e sér. 18, p. 293.
- BORNEBUSCH, C. H., 1914, Røddellens Livskrav og dens Optræden i Danmark. — Tidsskr. f. Skovvæsen 26 B, p. 28.
- BORNEMANN, F., 1920, Kohlensäure und Pflanzenwachstum. — Berlin.
- BOUSSINGAULT, J. B. et LÉWY, 1853, Mémoire sur la composition de l'air confiné dans la terre végétale. — Ann. Ch. et Phys. 3:e sér. 37.
- BUCKINGHAM, E., 1904, Contributions to our knowledge of the aëration of soils. — U. S. Dep. Agric. Bureau of Soils Bull. 25.
- BUDDIN, B. A., 1914, Partial sterilisation of soil by volatile and non-volatile antiseptics. — Journ. Agric. Sc. 6, p. 417.
- CANNON, W. A., 1915 a, Soil aëration and root growth. — Carn. Inst. Year book 14, p. 63.
- 1915 b, On the relation of root growth and development to the temperature and aëration of the soil. — Amer. Journ. Bot. 2, p. 211.
- 1916, On the relation between the rate of root-growth and the oxygen of the soil. — Carn. Inst. Year book 15, p. 74.
- 1917, Root-growth of Prosopis velutina and Opuntia versicolor under conditions of a small oxygen-supply in the soil. — Ibid. 16, p. 82.
- 1918 a, Root-growth in desert plants and the oxygen supply of the soil. — Ibid. 17, p. 81.
- 1918 b, Modification of root habits by experimental means. — Ibid. 17, p. 83.
- 1919 a, Influence of soil aëration upon growth of shoots. — Ibid. 18, p. 71.
- 1919 b, Reactions of roots of species with dissimilar habitats to different amounts of carbon dioxide in the soil. — Ibid. 18, p. 92.
- 1920, Effect of a diminished oxygen supply in the soil on the rate of the growth of roots. — Ibid. 19, p. 59.
- and FREE, E. E., 1917, The ecological significance of soil aëration. — Science N. S. 45, p. 178.
- 1920, Anaërobic experiments with helium. — Carn. Inst. Year book 19, p. 61.

- CERIGHELLI, R., 1920, Sur les échanges gazeux de la racine avec l'atmosphère. — *Compt. rend. Paris* 171, p. 575.
- CHAMBERLAIN, H. S., 1897, Recherches sur la sève ascendante. — *Bull. d. lab. d. bot. gén. d. l'Univ. d. Genève* 2, Neuchâtel.
- CHAPIN, P., 1902, Einfluss der Kohlensäure auf das Wachstum. — *Flora* 91, p. 348.
- CLEMENTS, F. E., 1921, Aération and air-content. — *Washington*.
- COLEMAN, D. A., 1916, Environmental factors influencing the activity of soil fungi. — *Soil Science* 2, p. 1.
- CZAPEK, FR., 1896, Zur Lehre von den Wurzelausscheidungen. — *Jahrb. wiss. Bot.* 29, p. 321.
- 1920, *Biochemie der Pflanzen*, Bd. 2, 2. Aufl. — Jena.
- DACHNOWSKI, A. F., 1908, The toxic property of bog water and bog soil. — *Bot. Gaz.* 46, p. 130.
- 1909, Bog toxins and their effects upon soils. — *Ibid.* 47, p. 389.
- 1910, Physiologically arid habitats and drought resistance in plants. — *Ibid.* 49, p. 325.
- DARBISHIRE, F. V. and RUSSELL, E. J., 1907, Oxidation in soils and its relation to productivity. II. The influence of partial sterilisation. — *Journ. Agric. Sc.* 2, p. 305.
- DARWIN, F. and ACTON, E. H., 1897, *Practical physiology of plants*. 2. ed. — Cambridge natural science manuals. — Cambridge.
- DEHÉRAIN, P. P. et DEMOUSSY, M. E., 1896, Sur l'oxydation de la matière organique du sol. — *Ann. agron.* 22, p. 305.
- et LANDRIN, ED., 1874, Recherches sur la germination. — *Compt. rend. Paris* 78, p. 1488.
- et VESQUE, J., 1876, Recherches sur la respiration des racines. — *Ann. Sc. nat. Bot.* 6. sér. 3 p. 327.
- DU RIETZ, G. E., 1921, Zur methodologischen Grundlage der modernen Pflanzensoziologie. — *Wien*.
- EBERMAYER, E., 1873, Die physikalischen Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden. — *Aschaffenburg*.
- 1877, Mittheilungen über den Kohlensäuregehalt eines bewaldeten und nicht bewaldeten Bodens. — *Amtl. Ber. d. 50. Vers. d. Naturf. u. Ärzte*, p. 218.
- 1878, Mittheilungen über den Kohlensäuregehalt der Waldluft und des Waldbodens im Vergleich zu einer nicht bewaldeten Fläche. — *W. F.* 1, p. 158.
- 1882, *Physiologische Chemie der Pflanzen*. I. Die Bestandtheile der Pflanzen. — *Berlin*.
- 1885, Die Beschaffenheit der Waldluft und die Bedeutung der atmosphärischen Kohlensäure für die Waldvegetation. — *Stuttgart*. — *ref. W. F.* 8, 1885, p. 323.
- 1890 a, Untersuchungen über die Bedeutung des Humus als Bodenbestandteil und über den Einfluss des Waldes, verschiedener Bodenarten und Bodendecken auf die Zusammensetzung der Bodenluft. — *W. F.* 13, p. 15.
- 1890 b, Untersuchungen über die Bedeutung des Humus als Bodenbestandteil und über den Einfluss des Waldes, verschiedener Bodenarten und Bodendecken auf die Zusammensetzung der Bodenluft. — *Allg. Forst- u. Jagd-ztg.* 36, p. 161.
- EGE, R., 1915, On the respiratory conditions of the larva and pupa of *Donacia*. — *Vid. Medd. fra Dansk nat. Foren. i København* 66, p. 183.
- EWART, A. J., 1894, Observations on the vitality and germination of seeds: Oxytropic irritability of roots. — *Trans. Liverpool Biol. Soc.* 8, p. 238.
- 1896, Additional observations on the vitality and germination of seeds: Oxytropic irritability of roots. — *Ibid.* 10, p. 190.
- FABRICIUS, O. und FEILITZEN, HJ. V., 1905, Über den Gehalt an Bakterien in jungfräulichem und kultiviertem Hochmoorboden auf dem Versuchsfelde des schwedischen Moorkulturvereins bei Flahult. — *Centralbl. f. Bakt. Abt. 2*, 14, p. 161.
- FALCK, R., 1916, Zerstörung des Holzes durch Holzschädlinge. *TROSCHELS Handbuch der Holzkonservierung*. — *Berlin*.
- 1918, Eichenerkrankung in der Oberförsterei Lödderitz und in Westfalen. — *Z. F. u. J. W.* 50, p. 123.
- FISHER, A., 1917, *The mathematical theory of probabilities & c.*, Vol. I. — *New York*.
- FLECK, H., 1873—74 a, Untersuchungen über die Beziehungen der Bodenarten und Bodengase des linken und rechten Elbufers zu den Grundwasserverhältnissen von Dresden. — *Jahresber. d. chem. Centralst. f. öffentl. Gesundh.-Pfleger in Dresden* 2, p. 15; 3, p. 3.
- 1874 b, Untersuchungen über Gräbergase, Gräberflüssigkeiten und Kirchhofbrunnen. *Ibid.* 3, p. 25.

- FODOR, J. v., 1875, Experimentelle Untersuchungen über Boden und Bodengase. — Vierteljahrsschr. f. öffentl. Gesundheitspflege 7, p. 211.
- 1881, Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser. I. Die Luft und ihre Beziehungen zu den epidemischen Krankheiten. — Braunschweig.
- 1882, D:o II. Boden und Wasser. — Braunschweig.
- FREE, E. E., 1917, The effect of aëration on the growth of buckwheat in water cultures. — John Hopk. Univ. Circ. 293, p. 198.
- and LIVINGSTON, B. E., 1915, The relation of soil aëration to plant growth. — Carn. Inst. Year book 14, p. 60.
- FRÜH, J. und SCHRÖTER, C., 1904, Die Moore der Schweiz mit Berücksichtigung der gesamten Moorfrage. — Beitr. z. Geol. d. Schweiz, hrsg. v. d. geol. Komm. d. Schweiz. naturf. Ges., Geotechn. Ser. Lief. 3. — Bern.
- GAARDER, T. og HAGEM, O., 1921, Salpetersyredannelse i udyrket jord. — Vestlandets forstl. forsøksstation Medd. 2:2 (nr 4). — Bergen.
- GLÜCK, H., 1905, Biologische und morphologische Untersuchungen über Wasser- und Sumpfgewächse. I. Die Lebensgeschichte der europäischen Alismaceen. — Jena.
- GOEBEL, K., 1893, Pflanzenbiologische Schilderungen 2:2. — Marburg.
- GRÄBNER, P., 1901, Die Heide Norddeutschlands. — ENGLER u. DRUDE, Vegetation der Erde, 5. — Leipzig.
- 1906, Beiträge zur Kenntnis nichtparasitärer Pflanzenkrankheiten an forstlichen Gewächsen. 1. Absterbender Fichtenbestand des Schutzbezirks Wolthöfen bei Lübberstedt. — Z. F. u. J. W. 38, p. 705.
- 1909, D:o 4. Bewurzelungsverhältnisse im Fichtenrothhumus. — Ibid. 41, p. 578.
- 1921, Die nichtparasitären Krankheiten. — SORAUERS Handb. d. Pflanzenkrankheiten, 4. Aufl. — Berlin.
- GRAMMEL, R., 1917, Die hydrodynamischen Grundlagen des Fluges. Samml. Vieweg 39—40. — Braunschweig.
- GREBE, C., 1896, Aufforstung von Ödländereien. III. Der Heideboden im Schiefergebirge. — Z. F. u. J. W. 28, p. 513.
- HAMBERG, H. E., 1885, Om skogarnas inflytande på Sveriges klimat. II. Skogens inflytande på luftens och markens temperatur. — Bih. K. Domänst. ber. 1884, p. 17.
- 1911, Nederbörden i Sverige 1860—1910. — Bih. Meteor. iakt. i Sverige 52. (1910).
- HANN, J. v., 1908, Handbuch der Klimatologie Bd I, 3:e Aufl. — Stuttgart.
- 1915, Lehrbuch der Meteorologie. 3:e Aufl. — Leipzig.
- HANNÉN, F., 1892, Untersuchungen über den Einfluss der physikalischen Beschaffenheit des Bodens auf die Diffusion der Kohlensäure. — W. F. 15, p. 6.
- HARRISON, W. H., and AIYER, P. A., 1913, The gases of swamp rise soils. — Mem. Dep. Agric. India, Chem. ser. 3, p. 65 (Agric. Res. Inst., Pusa).
- HARTIG, R., 1900, Lehrbuch der Pflanzenkrankheiten. — Berlin.
- HELMONT, J. B. VAN, 1648, Ortus medicinarum, id est initia physicarum inaudita. — Amsterdam.
- ref. E. v. MEYER, 1914, p. 75.
- HELMs, J., 1911, Nogle Gødningsforsøg i sygnende Grankultur paa Hedejord. — Tidsskr. for Skovvæsen 23 B, p. 66.
- HEMPEL, W., 1887, Über den Sauerstoffhalt der atmosphärischen Luft. — Ber. deutsch. chem. Ges. 20, p. 1864.
- HENRICI, M., 1918, Chlorophyllgehalt und Kohlensäure-Assimilation bei Alpen- und Ebenenpflanzen. — Diss. Basel.
- HESELINK VAN SUCHTELEN, F. H., 1910, Über die Messung der Lebenstätigkeit der aerobiotischen Bakterien durch die Kohlensäureproduktion. — Centralbl. Bakt. Abt. 2 28, p. 45.
- HESELMAN, H., 1904, Zur Kenntnis des Pflanzenlebens schwedischer Laubwiesen. — Beih. Bot. Centralbl. 17, p. 311.
- 1909, Berättelse öfver den botaniska afdelningens verksamhet åren 1906—1908 jämte förslag till program. — Medd. fr. Stat. Skogsförs.-anst. 6, p. 27.
- 1910 a, Studier öfver de norrländska tallhedarnas föryngringsvillkor. Ibid. 7, p. 25.
- 1910 b, Om vattnets syrehalt och dess inverkan på skogsmarkens försurning och skogens växtlighet. — Ibid. 7, p. 91.
- 1917 a, Studier öfver salpeterbildningen i naturliga jordmåner och dess betydelse i växtekologiskt avseende. — Ibid. 13—14, p. 297.
- 1917 b, Om våra skogsföryngringsåtgärders inverkan på salpeterbildningen i marken och dess betydelse för barrskogens föryngring. — Ibid. 13—14, p. 923.

- HESELNAN, H., 1917 c, Studier över de norrländska tallhedarnas förnygringsvillkor II. — Ibid. 13—14, p. 1221.
- 1917 d, Om skogsbeståndens roll vid moränilidernas försumpning. — Skogar och skogsbruk (även bil. I till Skogsvårdsfören. tidskr. 15). — Stockholm 1917.
- HOFMAN-BANG, O., 1905, Studien über schwedische Fluss- und Quellwässer. — Bull. geol. inst. Upsala 6 (1902—03), p. 101.
- HOLE, R. S., 1911, On some Indian forest grasses and their oecology. — Ind. For. Mem. 1: 1.
- 1918, Recent investigations on soil aëration. II. With special reference to forestry. — Ind. Forester 44, p. 202.
- 1921, The regeneration of Sal (*Shorea robusta*) forests. A study in economic oecology. Ind. For. Records 8: 2.
- and SINGH P., 1914—16, Oecology of Sal I—III. — Ind. For. Records 5: 4, p. 117, 241, 285.
- HOMÉN, TH., 1897, Der tägliche Wärmeumsatz im Boden und die Wärmestrahlung zwischen Himmel und Erde. — Diss. Helsingfors.
- HOWARD, A., 1916, Soil aëration in agriculture. — Agric. Res. Inst. Pusa, Bull. 61.
- 1918, Recent investigations in soil aëration. I. With special reference to agriculture. — Agric. Journ. of India 13, p. 416.
- and HOWARD, G., 1915 a, First report on the improvement of indigo in Bihar. — Agric. Res. Inst. Pusa, Bull. 51.
- 1915 b, Soil ventilation. — Ibid. Bull. 52.
- 1918, Some methods suitable for the study of root development. — Agric. Journ. of India, Spec. Congr. nr, p. 36.
- 1919, Drainage and crop production in India. — Agric. Journ. of India 14, p. 377.
- HUMBOLDT, A. v., 1799, Versuche über die chemische Zerlegung des Luftkreises und über einige andere Gegenstände der Naturlehre. — Braunschweig.
- HUTCHINSON, C. M., 1913, Report of the imperial agricultural bacteriologist. — Agric. Res. Inst. Pusa, Rep. 1911—12, p. 78.
- INGEN-HOUZ, J., 1779, Experiments upon vegetables, discovering their great power of purifying the common air in the sun-shine, and of injuring it in the shade and at night. — London.
- JENTYS, S., 1892, Sur l'influence de la pression partielle de l'acide carbonique dans l'air souterrain sur la végétation. — Bull. intern. Acad. Sc. Cracovie, Compt. rend. 4, p. 306.
- JOLYET, A., 1916, Traité pratique de sylviculture. 2:e éd. — Paris.
- JOST, L., 1913, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. 3 Aufl. — Jena.
- 1916, Versuche über die Wasserleitung in der Pflanze. — Z. Bot. 8, p. 1.
- KEEN, B. A. and RUSSELL, E. J., 1921, The factors determining soil temperature. — Journ. Agric. Sc. 9, p. 211.
- KELLERMAN, K. F., and MC BETH, J. G., 1912, Soil organisms which destroy cellulose. — Centralbl. Bakt. Abt. 2 34, p. 63.
- KIDD, F., 1914—16, The controlling influence of carbon dioxide in the maturation, dormancy and germination of seeds. I—III. Proc. Roy. Soc. 87 (1914); 89 (1916).
- and WEST, C., 1917, D:o IV. — Ann. Bot. 31, p. 457.
- KOCH, A., 1899, Untersuchungen über die Ursachen der Rebenmüdigkeit. — Arb. deutsch. Landw.-Ges. H. 40.
- KOPELOFF, N., 1916, The inoculation and incubation of soil fungi. — Soil Science 1, p. 381.
- KOSAROFF, P., 1897, Einfluss verschiedener äusserer Faktoren auf die Wasseraufnahme der Pflanzen. — Diss. Leipzig. — ref. KOSAROFF 1900.
- 1900, Die Wirkung der Kohlensäure auf den Wassertransport in den Pflanzen. — Bot. Centralbl. 83, p. 138.
- KRAUS, A., 1901, Beiträge zur Kenntniss der Keimung und ersten Entwicklung von Landpflanzen unter Wasser. — Diss. Kiel.
- KRETZER, E., 1912, Beziehungen zwischen dem täglichen Gang der Temperatur an der Bodenoberfläche und in den untersten Luftschichten. — Diss. Berlin.
- KROGH, A., 1903, Giftige Luftarter i Brønde. — Avertissementstidende Nr. 147, 29 Juni.
- 1908, On micro-analysis of gases. — Skand. Arch. Physiol. 20, p. 279.
- 1915, Die Mikroluftanalyse und ihre Anwendungen. — ABDERHALDENS Handb. d. biochem. Arbeitsmethoden 8, p. 495.
- 1920, Die Mikrogasanalyse und ihre Anwendungen. — ABDERHALDENS Handb. d. biol. Arbeitsmethoden 4: 10, H. 1, p. 179.
- KUNZE, G., 1906, Über Säureausscheidung bei Wurzeln und Pilzhyphen und ihre Bedeutung. — Jahrb. wiss. Bot. 42, p. 357.

- LANDOLT-BÖRNSTEIN, 1912, Physikalisch-chemische Tabellen. 4:e Aufl. hrsg. von R. BÖRNSTEIN und W. A. ROTH. — Berlin.
- LAU, E., 1906, Beiträge zur Kenntnis der Zusammensetzung der im Ackerboden befindlichen Luft. — Diss. Rostock.
- LEATHER, J. W., 1915, Soil gases. — Mem. Dep. Agric. India, Chem. ser. 4, p. 85 (Agric. Res. Inst. Pusa).
- LETTS, E. A. and BLAKE, R. F., 1900, The carbonic anhydride of the atmosphere. — Proc. Roy. Soc. Dublin 9, p. 107.
- LEWIS, T. R. and CUNNINGHAM, D. D., 1874, The soil in its relation to disease. — 11th ann. rep. of the sanitary commission with the Gov. of India. — ref. RENK 1876.
- LIPMAN, J. G., BLAIR, A. W., MC LEAN, H. C. and WILKINS, L. K., 1914, The formation of carbon dioxide and nitrates in the presence of large amounts of carbohydrates. — New Jersey Agr. Exp. Stat. 35th ann. rep., p. 220.
- LIVINGSTON, B. E., 1905 a, The relation of soils to natural vegetation in Roscommon and Crawford counties, Michigan. — Bot. Gaz. 39, p. 22.
- 1905 b, Physiological properties of bog water. — Bot. Gaz. 39, p. 348.
- and FREE, E. E., 1916, Relation of soil aëration to plant growth. — Carn. Inst. Year book 15, p. 78.
- 1917, The effect of deficient soil oxygen on the roots of higher plants. — John Hopkins Univ. Circ. p. 182. — ref. BERGMAN 1920.
- LOPRIORE, G., 1895, Über die Einwirkung der Kohlensäure auf das Protoplasma der lebenden Pflanzenzelle. — Jahrb. wiss. Bot. 28, p. 531.
- LÜDI, W., 1919, Die Sukzession der Pflanzenvereine. — Mitt. naturf. Ges. Bern.
- LUMIÈRE, A., 1921, Action nocive des feuilles mortes sur la germination. — Compt. rend. Paris 172, p. 232.
- LUNDEGÅRDH, H., 1921, Ecological studies in the assimilation of certain forest-plants and shore-plants. — Svensk bot. tidskr. 15, p. 46.
- MC LEAN, R. C., 1919, Studies in the ecology of tropical rainforest, with special reference to the forests of South Brazil. — Journ. Ecol. 7, p. (5), 121.
- MANGIN, L., 1896, Études sur la végétation dans ses rapports avec l'aération du sol. Recherches sur les plantations des promenades de Paris. — Ann. Sc. agron. franç. et étrang. 1, p. 1.
- MALMSTRÖM, C., 1922, Degerö stormyr; en botanisk, hydrologisk och utvecklingshistorisk studie över ett nordsvenskt myrkomplex. — Skall utkomma i Medd. fr. Stat. Skogsförs.-anst. 19. (Wird erscheinen.)
- MARTIENSSEN, O., 1913, Die Gesetze des Wasser- und Luftwiderstandes und ihre Anwendung in der Flugtechnik. — Berlin.
- MEYER, E. v., 1914, Geschichte der Chemie, 4:e Aufl. — Leipzig.
- MEYER, H., 1890, Die Winde zu Keitum auf Sylt. — Ann. d. Hydrographie 18, p. 63, 289.
- MITSCHERLICH, E. A., 1920, Bodenkunde für Land- und Forstwirte, 3 Aufl. — Berlin.
- MOLISCH, H., 1884, Über die Ablenkung der Wurzeln von ihrer normalen Wachstumsrichtung durch Gase. — Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Wien math.-naturw. Kl. Abt. I 90, p. 111.
- MÖLLER, J., 1878, Über die freie Kohlensäure im Boden. — Mitt. forstl. Versuchsw. Österreichs 2, p. 121. — ref. W. F. 1, p. 162.
- 1879, Über die freie Kohlensäure im Boden. — W. F. 2, p. 329.
- MOLLIARD, M., 1915, Sécrétion par les racines de substances toxiques pour la plante. — Rev. gén. bot. 27, p. 289.
- MONTFORT, C., 1921, Die aktive Wurzelaugung aus Hochmoorwasser im Laboratorium und am Standort und die Frage seiner Giftwirkung. — Jahrb. wiss. Bot. 60, p. 184.
- MÜLLER, P. E., 1879, 1884, Studier over Skovjord. — Tidsskr. f. Skovbrug 3 (1879), 7 (1884).
- og HELMSE, J., 1913, Forsøg med Anvendelse af Kunstgødning til Grankultur i midtjydske Hedebund. — D. forstl. Forsøgsvæsen i Danmark 3, p. 271.
- MÜTTRICH, A., 1886, Jahresbericht über die Beobachtungsergebnisse der forstlich-meteorologischen Stationen 11 (Das Jahr 1885). — Berlin.
- NATHANSOHN, A., 1910, Der Stoffwechsel der Pflanzen. — Leipzig.
- NATHORST, A. G., 1905, Svenska växtnamn. — Stockholm.
- NELLER, J. R., 1918, Studies on the correlation between the production of carbon dioxide and the accumulation of ammonia by soil organisms. — Soil Science 5, p. 225.
- NICHOLS, W. M. R., 1875, On the composition of the ground atmosphere. — Ann. rep. Mass. state board of health, Boston. — ref. RENK 1876.

- NICHOLS, 1876, Observations on the composition of the ground atmosphere in the neighbourhood of decaying organic matter. — Boston. — ref. RENK 1876.
- NOYES, H. A., 1914, The effect on plant growth of saturating a soil with carbon dioxide. — Science N. S. 40, p. 792.
- TROST, J. F. and YODER, L., 1918, Root variations induced by carbon dioxide gas additions to soil. — Bot. Gaz. 66, p. 364.
- and WEGHORST, J. H., 1920, Residual effects of carbon dioxide gas additions to soil on roots of *Lactuca sativa*. — Bot. Gaz. 69, p. 332.
- ODÉN, S., 1919, Die Huminsäuren. — Kolloidchem. Beih. 11.
- ONODERA, I., 1920, Über die Gase, welche im Reisfelde bei der Zersetzung von Genge (*Astragalus sinicus*) entstehen. — Ber. Ohara Inst. Landw. Forsch. (Kuraschiki) 1: 5, p. 557.
- PALMQVIST, A., 1892, Över atmosfärens kolsyrehalt. — Bih. K. Vet.-Akad. Handl. Bd. 18, avd. 2, No. 2.
- PETTENKOFER, M. v., 1871, 1873, Über den Kohlensäuregehalt der Grundluft im Geröllboden von München in verschiedenen Tiefen und zu verschiedenen Zeiten. — Z. Biol. 7 (1871); Do ibid. 9 (1873).
- 1875, Über den Kohlensäuregehalt der Luft in der libyschen Wüste über und unter der Bodenoberfläche. — Ibid. 11, p. 381.
- PICKERING, S., 1917, The effect of one plant on another. — Ann. Bot. 31, p. 181.
- POLOWZOW, W., 1909, Untersuchungen über Reizerscheinungen bei den Pflanzen (mit Berücksichtigung der Einwirkung von Gasen und der geotropischen Reizerscheinungen). — Jena.
- PUCHNER, H., 1892, Untersuchungen über den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre. — W. F. 15, p. 296.
- RAMANN, E., 1893, Forstliche Bodenkunde und Standortslehre. — Berlin.
- 1905, Bodenkunde. 2. Aufl. — Berlin.
- 1911, Bodenkunde. 3. Aufl. — Berlin.
- REINAU, F., 1920, Kohlensäure und Pflanzen. — Halle.
- RENK, F., 1876, Grundluft und Boden. — Deutsche Vierteljahrsschr. f. öffentl. Gesundheitspflege 8, p. 691.
- RIGG, G. E., 1913, The effect of some puget sound bog waters on the root hairs of *Tradescantia*. — Bot. Gaz. 55, p. 314.
- , G. B. and THOMPSON, T. G., 1919, Colloidal properties of bog water. — Bot. Gaz. 68, p. 367.
- RINDELL, A., 1919, Läröbok i agrikulturkemi och agrikulturfysik. — Helsingfors.
- ROMELL, L.-G., 1920, Physionomistiquie et écologie raisonnée. — Sv. bot. tidskr. 14, p. 136.
- ROSTRUP, E., 1891, Angreb af Snyltesvampe i danske Skove i Aarene 1889—1890. Fliget Barksvamp (*Thelephora lacinata*). — Tidsskr. f. Skovvæsen 3, p. 91.
- 1902, Plantepatologi. — København.
- RUSSELL, E. J., 1905, Oxidation in soils, and its connexion with fertility. — Journ. Agric. Sc. 1, p. 261.
- 1917, Soil conditions and plant growth. 3. ed. — London.
- and APPLEBYARD, A., 1915, The atmosphere of the soil: its composition and the causes of variation. — Journ. Agric. Sc. 7, p. 1.
- 1917, The influence of soil conditions on the decomposition of organic matter in the soil. — Ibid. 8, p. 385.
- and HUTCHINSON, H. B., 1909, 1913, The effect or partial sterilisation of soil on the production of plant food. — I. Journ. Agric. Sc. 3, p. 111; II. ibid. 5, p. 152.
- RUSSELL, W. J., 1884, On the amount of coarboic acid in London air. — Monthly weather rep. meteor. office Apr. 1884; St. Bartholomews Hospital rep. 20.
- SALGER, C., 1880, Bodenuntersuchungen mit besonderer Berücksichtigung des Einflusses der Ventilation auf die CO₂-Menge im Boden. — Diss. 1878 Erlangen. — Augsburg 1880.
- SAMMET, S., 1905, Untersuchungen über Chemotropismus und verwandte Erscheinungen bei Wurzeln, Sprossen und Pilzfäden. — Jahrb. wiss. Bot. 41, p. 621.
- SANDEN, H. v., 1914, Praktische Analysis. — Leipzig und Berlin.
- SAUSSURE, TH. DE, 1804, Recherches chimiques sur la végétation. — Paris.
- SCHLÖSING, TH., 1873, Étude de la nitrification dans les sols. — Compt. rend. Paris 77, p. 203.
- fils, 1889, Sur l'Atmosphère confinée dans le sol. — Ibid. 109, pp. 618, 673.
- 1891, Sur l'atmosphère contenue dans les sols agricoles. — Ann. Chim. et Phys. 23 p. 362.

- SCHMIT-JENSEN, H. O., 1920, Estimation of carbon dioxide, oxygen and combustible gases by Krogh's method of micro-analysis. — *Biochem. Journ.* 14.
- SCHOTTE, G., 1921, Ljunghedarnas geografiska utbredning och produktionsmöjligheter. — *K. Lantbr.-Akad. handl. och tidskr.*
- SCHREINER, O. and LATHROP, E. C., 1911, Dihydroxystearic acid in good and poor soils. — *Journ. Amer. Chem. Soc.* 33, p. 1412.
- and REED, H. S., 1907, The production of deleterious excretions by roots. — *Bull. Torrey Bot. Club* 34, p. 279.
- 1908, The power of sodium nitrate and calcium carbonate to decrease toxicity in conjunction with plants growing in solution cultures. — *Journ. Amer. Chem. Soc.* 30, p. 85.
- 1909, Studies on the oxidizing power of roots. — *Bot. Gaz.* 47, p. 355.
- and SKINNER J. J., 1910, Some effects of a harmful organic soil constituent. — *Bot. Gaz.* 50, p. 161.
- SELANDER, N. E., 1888, Luftundersökningar vid Vaxholm 1885—86. — *Bih. K. Vet.-Akad. Handl. Bd. 13 avd. 2 No. 9* (1887).
- SEN, J., 1920, Report of the imperial agricultural chemist. Carbon dioxide in soil air. — *Sc. Rep. Agric. Res. Inst. Pusa, 1919—20*, p. 41.
- SJÖSTRÖM, A., 1911—19, Agronomiska undersökningar. — *Redog. f. verksamh. v. Ultuna lantbr.-inst.*
- SMOLENSKY, P., 1877, Über den Kohlensäuregehalt der Grundluft. — *Z. Biol.* 13, p. 387.
- SNOW, L. M., 1905, The development of root hairs. — *Bot. Gaz.* 40, p. 12.
- SORAUER, P., 1874, 1886, 1909, *Handbuch der Pflanzenkrankheiten. I. Die nichtparasitären Krankheiten.* — Berlin. 1:e Aufl. 1874, 2:e Aufl. 1886, 3:e Aufl. 1909.
- GRÄBNER 1921: *Handbuch der Pflanzenkrankheiten, begründet von P. SORAUER, 4:e Aufl. I. Die nichtparasitären Krankheiten, bearb. von P. GRÄBNER.* — Berlin.
- STILES, W., 1915, On the relation between the concentration of the nutrient solution and the rate of growth of plants in water culture. — *Ann Bot.* 29, p. 89.
- STOKLASA, J., 1911, Methoden zur Bestimmung der Atmungsintensität der Bakterien im Boden. — *Z. landw. Versuchsw. Österreich* 14, p. 1243.
- and ERNEST, A., 1905, Über den Ursprung, die Menge und die Bedeutung des Kohlendioxids im Boden. — *Centralbl. Bakt. Abt. 2* 14, p. 723.
- 1908, Beiträge zur Lösung der Frage der chemischen Natur des Wurzelsekretes. — *Jahrb. wiss. bot.* 46, p. 55.
- STÅLSTRÖM, A., 1898, Om lerslagningens betydelse. — *Finska mosskulturfören, årsbok*, p. 44.
- TAMM, O., 1920, Markstudier i det nordsvenska barrskogsområdet. (Bodenstudien in der nordschwedischen Nadelwaldregion). — *Medd. fr. Stat. Skogsförs.-anst.* 17, p. 49.
- THATCHER, K. M., 1921, The effect of peat on transpiration. *Journ. Ecol.* 9, p. 39.
- TAAEN, A. E., 1914, Untersuchungen über Bodenpilze aus Norwegen. — *Nyt Mag. f. Naturv.* 52, p. 19.
- TRANSEAU, E. U., 1906, The bogs and bog flora of the Huron River valley IV. — *Bot. Gaz.* 41, p. 17.
- TRELEASE, S. F. and FREE, E. E., 1917, The effect of renewal of culture solutions on the growth of young wheat plants in watercultures. — *John Hopk. Univ. Circ.* 293, p. 227.
- TROILI-PETERSSON, G., 1898, Über den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre. — *Bih. K. Vet.-Akad. Handl. Bd. 23 Avd. 2 No. 6.*
- TURPIN, H. W., 1920, The carbon dioxide of the soil air. — *Cornell Univ. Agric. Exp. Sta. Ithaca, N. Y., Mem.* 32.
- VAGELER, P., 1906, Über Bodentemperaturen im Hochmoor und über die Bodenluft in verschiedenen Moorformen. — *Mitt. d. bayr. Moorkult.-Anst.* 1.
- WACKER, I., 1898, Die Beeinflussung des Wachstums der Wurzeln durch das umgebende Medium. — *Jahrb. wiss. Bot.* 32, p. 71.
- WAGNER, C., 1912, Der Blendersaumschlag und sein System. — *Tübingen.*
- WAKSMAN, S. A., 1916 a, Bacterial numbers in soils. — *Soil Science* 1, p. 363.
- 1916 b, Soil fungi and their activities. *Ibid.* 2, p. 103.
- and COOK, R. C., 1916, Incubation studies with soil fungi. — *Ibid.* 1, p. 275.
- WARMING, E. and GRÄBNER, P., 1918, *Eug. Warmings Lehrbuch der ökologischen Pflanzengeographie*, 3. umgearb. Aufl. — Berlin.
- WIELER, A., 1892, Das Bluten der Pflanzen. — *Cohns Beitr. z. Biol. d. Pflanzen* 6, p. 1.
- WINKELMANN, A., 1908, *Handbuch der Physik* 1:2, 2 Aufl. — Leipzig.
- WOLFFHÜGEL, G., 1877, Über den Einfluss der Barometerschwankungen auf die Bodengase. — *Amtl. Ber. d. 50. Versamml. deutsch. Naturf. u. Ärzte, München*, p. 355.

- WOLFFHÜGEL, 1879, Über den Kohlensäuregehalt im Geröllboden von München. — Z. Biol. 15, p. 98.
- WOLK, P. C. VAN DER, 1918, Onderzoekingen betreffende den Cocospalm. — Cultura (Tiel).
- WOLLNY, E., 1880 a, Untersuchungen über den Kohlensäuregehalt der Bodenluft. — Landw. Versuchs.-Stat. 25, p. 373.
- 1880 b, Untersuchungen über den Einfluss der Pflanzendecke und der Beschattung auf den Kohlensäuregehalt der Bodenluft. — W. F. 3, p. 1.
- 1881, Untersuchungen über den Einfluss der physikalischen Eigenschaften des Bodens auf dessen Gehalt an freier Kohlensäure. — Ibid. 4, p. 1.
- 1882, Beiträge zur Frage des Einflusses des Klimas und der Witterung auf den Kohlensäuregehalt der Bodenluft. — Ibid. 5, p. 229.
- 1885, Beiträge zur Frage der Schwankungen im Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft. — Ibid. 8, p. 405.
- 1886, Untersuchungen über den Einfluss der physikalischen Eigenschaften des Bodens auf dessen Gehalt an freier Kohlensäure. — Ibid. 9, p. 165.
- 1893, Untersuchungen über die Permeabilität des Bodens für Luft. — Ibid. 16, p. 193.
- 1896, Untersuchungen über den Einfluss der Pflanzendecken auf den Kohlensäuregehalt der Bodenluft. — Ibid. 19, p. 151.
- 1897, Die Zersetzung der organischen Stoffe und der Humusbildungen mit Rücksicht auf die Bodenkultur. — Heidelberg.



DIE BODENVENTILATION ALS ÖKO- LOGISCHER FAKTOR.

Resümee von Teil I (Kap. 1—6), Teil III (Kap. 9—10), Teil IV (Kap.
11—16) und Teil V (Lokalitätsbeschreibungen).

Teil II (Kap. 7—8) vollständig.

Vorwort.

In vorliegender Abhandlung wird nur die Frage gewürdigt, inwiefern der in gewissen Fällen herabgesetzte Gasaustausch Boden-Luft durch die Entstehung höherer Werte von Sauerstoffdefizit und Kohlensäureüberschuss schädlich wirkt und in dieser Weise zu einem ökologischen Faktor werden kann. Ein anderes Problem ist das, inwiefern die Kohlensäureabgabe des Bodens als positiver ökologischer Faktor in Betracht kommt. Nach den Untersuchungen von LUNDEGÅRDH (1921) muss diese Frage für gewisse Waldbodenpflanzen bejaht werden. Die Kohlensäurebilanz im Walde und die Kohlensäureökonomie der Waldbäume sind ganz offene Probleme. Der Verf. beabsichtigt, dieselben in einer späteren Arbeit anzugreifen.

Für die jetzt vorliegende Frage vielleicht nicht ganz notwendig, aber für alle Überlegungen, die den Gasaustausch Boden-Luft berühren sehr wünschenswert war eine Auseinandersetzung auf quantitativem Grund über den Mechanismus des Gasaustauschs. Diese Auseinandersetzung hat schon in der vorliegenden Abhandlung ihren Platz gefunden.

Teil I. Der Sauerstoff- und Kohlensäurehaushalt der biologisch wichtigen Bodenschichten.

Kap. 1. Die Zusammensetzung der Bodenluft, Mittel und Extreme, nach älteren Untersuchungen.

Es wird in Tab. I, Teil VI, eine Zusammenstellung der vorliegenden Angaben gegeben, insofern sie sich auf Böden in normaler Lagerung beziehen. Dagegen sind Bestimmungen an Böden in Zisternen u. s. w. nicht mitgenommen. Einige Angaben sind unberücksichtigt gelassen aus anderen Gründen, so z. B. die von LEATHER (1915), weil seine Ziffern nicht die Zusammensetzung der Gasphase geben und so mit der Mehrzahl der anderen Ziffern nicht verglichen werden können. Aus dem vorliegenden Ziffernmaterial werden die folgenden allgemeinen Züge herausgelesen: 1. Der Gehalt von O_2 sinkt, der von CO_2 steigt in der Regel mit grösserer Tiefe unter der Bodenfläche. 2. In fortlaufenden Analysenserien hat man in der Regel das Minimum an O_2 , das Maximum an CO_2 im Hoch- oder Spätsommer gefunden, und das Umgekehrte in den kalten Monaten. Unter anderen klimatischen Verhältnissen kann eine doppelte Jahresperiode vorkommen mit Maximum von O_2 -Defizit und CO_2 -Überschuss im Frühling und Herbst (England: RUSSELL & APLEYARD 1915). 3. Der O_2 -Gehalt der oberflächlichen, von Wurzeln durchsetzten Bodenschichten sinkt nur in seltenen Ausnahmefällen weit unter den der Atmosphäre. Er hält sich in den allermeisten Fällen um 18—20 Volum-% herum. Der CO_2 -Gehalt ist immer prozentisch viel höher als der

geringe Gehalt in der Atmosphäre, übersteigt jedoch selten ein oder ein paar Volum-%. 4. Ein hoher CO_2 -Gehalt pflegt mit einem bedeutenden O_2 -Mangel vergesellschaftet zu sein, und umgekehrt. Die Summe von O_2 und CO_2 kann jedoch bedeutend variieren.

Kap. 2. Die Variationen in der Zusammensetzung der Bodenluft.

Man wird örtliche und zeitliche Schwankungen unterscheiden. Die letzteren können in jährliche und schnelle eingeteilt werden.

Jährliche Schwankung. Die Grösse der jährlichen Schwankung in dem CO_2 -Gehalt nach Material aus Mitteleuropa illustriert Tab. III (S. [9]). Die gegebenen Amplitudenziffern bedeuten beiderseitige Abweichung in % des Mittels aus Maximum- und Minimumwert, in der Kurve der Monatsmittel. Die Form der Kurven ist nicht etwa sinusoid, sondern die Kurve steigt und fällt um das Maximum steil, während das Minimum ausgezogen ist. Der CO_2 -Gehalt liegt also einen grösseren Teil des Jahres näher dem Minimum als dem Maximum. Die Kurven gipfeln immer irgendwo im dritten Viertel des Jahres oder auf der Grenze zum letzten Viertel. Noch kurzdauernder ist das Maximum von O_2 -Defizit wie von CO_2 in RUSSELLS & APPELYARDS Material (1915), wo von den zwei hier vorhandenen Jahresmaximis das Frühlingsmaximum im April am ausgeprägtesten ist.

Schnelle Variation. In FODORS Serien aus Budapest kommen zuweilen schnelle Schwankungen des CO_2 -Gehalts (von einem Tag zum anderen oder von der Dauer einiger Tage) vor, die eine Amplitude von bis ± 50 % des Mittelwerts haben; während anderer Perioden war die Variation viel geringer. Einige ausgewählte Beispiele von auffallenden schnellen Schwankungen in FODORS Kurve sind S. [10] gegeben. Es ist schwierig zu entscheiden, was der gewöhnlichere Fall ist, eine so schnelle und ausgiebige Variation wie nach diesen Beispielen oder der ruhige Verlauf, den andere Teile der Kurve FODORS zeigen.

Örtliche Variation. Die Differenzen zwischen verschiedenen Lokalitäten können wenigstens für den O_2 -Gehalt die grössten denkbaren Werte erreichen (vgl. Tab. I). Auch von einem Fleck zum andern kann die Variation beträchtlich sein. RUSSELL & APPELYARD fanden für diese Variation in Ackerland Standardabweichungen, die rund 20 % des O_2 -Defizits bzw. des CO_2 -Gehalts betragen.

Verschiedene Tiefen. Die Änderung mit der Tiefe pflegt nicht dieser proportional zu sein, sondern gegen die Tiefe zu langsamer. RUSSELL & APPELYARD fanden z. B. in 18" Tiefe im Mittel nur um 27 % grössere CO_2 -Gehalte und O_2 -Defizite als in 6", anstatt 200 % für lineare Änderung.

Kap. 3. Ursachen der Variationen in der Zusammensetzung der Bodenluft.

Schon frühzeitig hat man die Variationen teils mit auf die Grösse des O_2 -Umsatzes in dem Boden einwirkenden Faktoren, wie »Verunreinigung« durch organisches Material (die ersten Untersuchungen wurden von Hygienikern ausgeführt), teils mit auf den Gasaustausch einwirkenden in Verbindung gebracht; dabei hat man zuweilen einseitig an die eine oder andere Gruppe von Faktoren gedacht und ist so in Widersprüche geraten. Es ist klar, dass beide eine Rolle werden spielen können.

Kap. 4. Die Oxydationsprozesse im Boden.

Sterilisationsversuche. Dass eine Erdprobe O_2 verbraucht, zeigte schon SAUSSURE. Nach Sterilisieren durch Hitze oder Gifte ist dagegen der O_2 -Verbrauch und die CO_2 -Produktion bei gewöhnlicher Temperatur im allgemeinen nur gering. In sauren torfartigen Humusarten war aber in Versuchen HESSELMANS (1910 b) die Oxydation auch nach Sterilisieren durch Hitze nicht oder wenig herabgesetzt. Falls nicht in diesen Versuchen partielle Sterilisation oder Bildung leichtoxydierbarer Stoffe durch die Hitze vorgelegen hat, deuten die Resultate darauf hin, dass in solchen Böden eine aussergewöhnlich starke rein chemische Oxydation stattfindet.

Die Sauerstoffkonsumenten und Kohlensäureproduzenten des Bodens. Die Wurzeln der Pflanzen atmen im allgemeinen stark, aber trotzdem haben die vergleichenden Untersuchungen keinen einheitlichen Ausschlag dahin ergeben, dass das O_2 -Defizit und der CO_2 -Gehalt in bewachsenem Boden grösser wäre, was wohl aus der komplizierten Einwirkung der Pflanzendecke (WOLLNY, RUSSELL & APPELYARD) zu erklären ist. Viel einheitlicher sind die Resultate für die Mikroorganismen gewesen, und man hat vielfach angegeben, dass die CO_2 -Produktion oder der O_2 -Verbrauch des Bodens als ein Mass für die Lebhaftigkeit der Wirksamkeit seiner Mikroorganismen gebraucht werden könne. Dies gilt zunächst für Ackererde. Wie die Verhältnisse z. B. in Waldböden mit Rohhumus liegen, ist nicht geklärt (vgl. die ebenangeführten Versuche HESSELMANS.)

Biologische Ursachen der Variationen der Bodenluft. Für solche Böden, die fast alle Untersuchungen betreffen, ist es jedenfalls leicht, die Relationen zu verstehen, die man zwischen O_2 -Verbrauch bzw. CO_2 -Produktion des Bodens und Faktoren wie Temperatur, Feuchtigkeit u. s. w. gefunden hat. Die Abhängigkeitskurven zeigen sich im Experiment als typische biologische Kurven mit einem Optimum. In der Natur wird im Zusammenspiel der Faktoren bald der eine, bald der andere Faktor begrenzend sein, und man versteht leicht, dass die Maxima z. B. der beobachteten CO_2 -Kurven in verschiedenen Klimaten auf verschiedene Zeiten fallen. (München Juli, Indien zur Zeit der starken Regen; in England in den Monaten Nov.—Mai Parallelvariation mit der Bodentemperatur, Mai—Nov. mit dem Niederschlag). Die jährliche Variation scheint also in der Hauptsache durch eine entsprechende Variation in der Aktivität der Bodenorganismen bedingt zu sein.

Die schnelle Variation dagegen fasst man allgemein als durch Variationen in den durchlüftenden Faktoren bedingt auf, und wir werden auf dieselbe unten, im Teil II zurückkommen.

Kap. 5. Der Betrag der CO_2 -Produktion.

CO_2 -Produktion in Ackererde. Man hat mehrfach gefunden, dass der CO_2 -Gehalt der Luft über einem bewachsenen Acker im Hochsommer trotz der Assimilation der grünen Pflanzen zwischen diesen höher als in der freien Luft über dem Feld sein kann. Dies bedeutet natürlich soviel, dass die Produktion von dem Ackerboden unter Umständen den Verbrauch seitens der gebauten Pflanzen während der lebhaften Assimilationsarbeit im Hochsommer decken kann. An Hand von landwirtschaftlichen Produktionsziffern (SJÖSTRÖM 1911—1919) kann man eine Vorstellung davon gewinnen, was das in produ-

zierte CO_2 pro m^2 Acker bedeutet. Nach den Ziffern SJÖSTRÖMS bekommt man 7 bis 10,5 lit. (15°C , Normaldruck) CO_2 pro Tag und m^2 . STOKLASA & ERNEST (1905) kommen zu 13,5 g CO_2 pro Tag und m^2 , was fast genau dem niedrigeren Wert 7 lit aus SJÖSTRÖMS Ziffern entspricht.

CO_2 -Produktion in Waldboden. STOKLASA & ERNEST fanden für Waldboden in Mitteleuropa sogar höhere Werte als für Ackerboden. In Schweden hat LUNDEGÄRDH (1921) einige direkten Bestimmungen ausgeführt, die Buchenwald- und Erlenbruchboden betreffen und 2—5 lit (15°C , wie oben und im folgenden) pro Tag und m^2 Bodenfläche ergaben. Selbst habe ich einige Bestimmungen nach einer ähnlichen, aber verbesserten Methode ausgeführt, die für Buchenwaldboden auf Hallands Väderö (Skåne=»Schonen«) Werte ergaben, die in Tab. V, S. [21], angegeben sind. Die Methode unterscheidet sich von derjenigen LUNDEGÄRDHS dadurch, dass während der Versuchszeit kein Baryt in der Glocke (Fig. 1, S. [20]) zugegen ist, und ergibt deshalb einen sicheren Minimalwert der normalen Abgabe. Es wurde die anfängliche Konzentration c_0 der Kohlensäure an der Bodenoberfläche und die Konzentration c_t in der Glocke zur Ende der Versuchszeit t ermittelt an Gasproben von 3 bzw. 0,9 lit mit einer von LUNDEGÄRDH ausgearbeiteten Methode (Prinzip: PETTENKOFERS Flaschenmethode mit Verbesserungen von LETTS & BLAKE). Gleichzeitig mit dem Nehmen der Gasprobe durch L wurde eine entsprechende Menge Wasser durch W in den Becher (Fig. 1) eingegossen, um ein Herausaugen von Bodenluft aus dem Boden zu vermeiden. Die Resultate werden sich offenbar dem wahren Wert der normalen Abgabe in demselben Masse nähern, als die Versuchszeit kurz genommen wird, und somit sehe ich mich berechtigt, den Mittelwert der beiden kürzesten Versuche, 5,2 g = 2,8 lit pro Tag und m^2 , als einen sicheren Minimalwert der normalen Abgabe für die betreffende Periode und den betreffenden Boden anzunehmen.

Kap. 6. Die Lebhaftigkeit des Gasaustauschs, beurteilt an Hand der CO_2 -Produktion und des Vorrats an CO_2 .

Ackerland. Setzen wir den durchschnittlichen CO_2 -Gehalt der Bodenluft in den oberflächlichen paar dm Bodenschicht zu $\frac{3}{4}\%$, so ist dies auch für Acker im Hochsommer ziemlich hoch gerechnet (vgl. Tab. I.) Um mit diesem CO_2 -Gehalt 7 : 24 = 0,29 lit CO_2 zu bekommen (was ja die berechnete Abgabe pro Stunde und m^2 war, vgl. Kap. 5), so brauchen wir immerhin 39 lit Bodenluft, entsprechend einem Bodenvolum von etwa 2 hl, wenn der Luftgehalt des Bodens 20 % ist (Durchschnitt für naturfeuchte Ackererde ist nach RUSSELL 1917 nur 10 %). Dieses Volum entspricht mit einer Grundfläche von 1 m^2 einer Höhe von 2 dm. D. h., es würde pro Stunde soviel von dem Boden abgegeben werden, als dem gesamten CO_2 -Vorrat von der Oberfläche bis zur Tiefe 2 dm entspricht.

Buchenwaldboden. Wir fanden eine Abgabe von 0,12 lit pro Stunde und m^2 Bodenfläche. Zwei Tage später als die Abgabebestimmungen gemacht wurden, wurde der CO_2 -Gehalt auf demselben Fleck in 3 verschiedenen Tiefen bestimmt (Vgl. Teil VI, Tab. XIII H, Proben 76—78). Die CO_2 -Überschüsse in 15 bzw. 30 cm Tiefe waren 0,16 bzw. 0,33 $\%$ ¹, die Steigerung

¹ Diese Analysen wurden mit einem anderen, empfindlicheren Apparat (von HALDANE-Typus) als die anderen ausgeführt.

ist also bis an die letzte Tiefe annähernd linear. Sehen wir die Steigerung gegen die Tiefe als linear an, und rechnen wir, um nicht eine zu tiefe Durchlüftung zu fordern, mit dem sehr hohen Wert 60 % für den Luftgehalt des Bodens, so finden wir, dass die tatsächlich beobachtete Abgabe von CO_2 pro Stunde dem gesamten Vorrat an überschüssiger CO_2 von der Oberfläche bis zur Tiefe 1,9 dm entspricht.

Die Bodenkohlensäure und die Atmosphäre. Wenn diese Berechnungen verallgemeinert werden dürfen, ist offenbar der in der Bodenluft gefundene CO_2 -Gehalt aufzufassen als ein Gleichgewicht einer intensiven Produktion und eines lebhaften Austauschs mit der Atmosphäre. Sicher liegt die Sache so in vielen Fällen, und vieles spricht dafür, dass dies der Regel ist. Mehrere Forscher haben einen deutlichen Einfluss der Bodenkohlensäure auf den CO_2 -Gehalt der unteren Schichten des Luftmeeres gefunden. (z. B. FODOR 1881). Die modernen Ideen über Kohlensäuredüngung (vgl. z. B. BORNEMANN, REINAU) bauen auch darauf, dass die Verhältnisse für Ackerland so liegen.

Der Sauerstofftransport. Bei den obigen Überlegungen ist stillschweigend die CO_2 als ein Indikator des Gasaustauschs angesehen worden. Der Sauerstofftransport interessiert uns noch mehr, es ist aber schwierig, darüber direkt ähnliche Anhaltspunkte zu gewinnen. Da aber die CO_2 im grossen ganzen im Boden als Folge biologischer Atmungsprozesse mit einem respiratorischen Quotient von 1 oder weniger entsteht, so kann man behaupten, dass O_2 im grossen ganzen mindestens ebenso schnell in den Boden strömt als CO_2 daraus entweicht.

Schlussfolgerungen. Man dürfte aus dem angeführten folgern dürfen, dass der normale Fall ein sehr lebhafter Gasaustausch zwischen den biologisch wirksamen Bodenschichten und der Atmosphäre ist. Um recht klar zu machen, was die eben angeführten Ziffern bedeuten, ist es vielleicht angebracht, sie von einem anderen Gesichtspunkt zu betrachten. Wir fanden, dass die stündlich abgegebene Menge CO_2 dem ganzen Vorrat bis zur Tiefe 2 dm entspricht. Wenn ein Dauerzustand herrscht, kann die geförderte Menge der produzierten gleichgesetzt werden, also die stündlich im Boden produzierten Mengen entsprechen dem Vorrat von der Oberfläche bis an die Tiefe 2 dm. Nun ist die biologische Wirksamkeit nahe an der Oberfläche gehäuft; wenn man die Bakterienkurven WAKSMANS (Fig. 3, Teil II, S. [58]) in Produktionskurven übersetzt, so findet man, dass 68 % der Totalproduktion oberflächlicher als 2 dm Tiefe gelegen ist. Also was in der 2 dm mächtigen Oberflächenschicht in $100:68 = 1\frac{1}{2}$ Stunde produziert wird, entspricht dem Vorrat an CO_2 in dieser Schicht. Eine vollständige Sistierung des Gasaustauschs dieser Schicht während $1\frac{1}{2}$ Stunde würde also genügen, um den CO_2 -Überschuss in dieser Schicht auf das doppelte zu erhöhen, eine Sistierung während 14 Stunden würde eine Erhöhung auf das Zehnfache gegen früher herbeiführen, sofern die Aktivität unverändert fortdauerte, u. s. w. Ich schliesse aus diesen Ziffern, dass der normale Gasaustausch grösstenteils von Faktoren bewirkt sein muss, die im grossen ganzen immer mit ziemlich gleicher Intensität wirksam sind; wenn ausgeprägt intermittierend wirksame Faktoren wie Wind und dgl. die hauptsächlich wirksamen wären, würde man stets in der Zusammensetzung der Bodenluft schnelle Variationen zu erwarten haben von viel grösserer Amplitude als die gefundenen.

AVD. II.

GASUTBYTETS MEKANIK.

(Denna avdelning är i sin helhet tryckt på tyska, jfr förordet.)

TEIL II. Der Mechanismus des Gasaustausches.

(Dieser Teil ist in extenso deutsch gedruckt.)

KAP. 7. Vergleich der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Faktoren.

Ein Vergleich der möglichen oder wahrscheinlichen Leistungsfähigkeit aller bei der Bodendurchlüftung in Frage kommenden Faktoren habe ich in der Literatur nicht finden können. Im Gegenteil, im allgemeinen begnügen sich die Verfasser, die den Mechanismus des Gasaustausches berühren, damit, die Faktoren aufzuzählen, die in Betracht kommen können, oder die Faktoren werden nach ihrer vermuteten Bedeutung graduiert und der eine oder andere als besonders wichtig herausgegriffen, alles ohne nähere Begründung. So gehen denn auch die Ansichten weit auseinander über die Frage, welche Faktoren bei der Bodendurchlüftung die Hauptrolle oder überhaupt eine nennenswerte Rolle spielen.

In der ersten Auflage von RAMANNS Bodenkunde (1893 p. 109) wird angegeben, dass der Gasaustausch zwischen Bodenluft und Atmosphäre wesentlich durch zwei Vorgänge bewirkt wird, hauptsächlich durch Diffusion und dann durch Volumänderungen und Strömungen infolge Temperaturdifferenzen. In der zweiten Auflage (1905 p. 297) werden als wirksame Faktoren genannt: Wechsel von Temperatur und Luftdruck, Diffusion, eindringendes Wasser und Windwirkung. Von diesen werden beide in der ersten Auflage genannten Faktoren nunmehr als von untergeordneter Bedeutung angesehen und als besonders wichtig werden statt dessen Wind, eindringendes Wasser und Luftdrucksschwankungen genannt. Über die Diffusion wird bemerkt: »Im allgemeinen ist jedoch der Ausgleich durch Diffusion zwischen den Gasen des Bodens so langsam, dass man ihm grosse Bedeutung kaum beimessen kann«. Endlich in der dritten Auflage von RAMANNS Buch (1911 p. 386) werden dieselben Faktoren wie in der vorigen Auflage genannt; auch die Rolle der Luftdrucksschwankungen wird jetzt gering eingeschätzt, und als die einzigen effektiveren Faktoren werden Wind und eindringendes Wasser genannt und ausserdem Vertikalströmungen infolge stärkerer Erwärmung des Bodens sowie für die tieferen Bodenschichten Unterschiede im Luftdruck in grösseren Gebieten. Über die Diffusion wird wie in der vorigen Auflage gesagt, dass die Diffusionsprozesse langsam verlaufen, mit dem Zusatz: »zumal in Gasgemischen, die voneinander in ihrer Zusammensetzung so wenig abweichen wie Bodenluft und atmosphärische Luft«. RAMANNS Ansichten werden bekanntlich in bodenkundlichen Fragen gewissermassen als normativ angesehen.

In HANNS Klimatologie (1908 Bd. I p. 80) liest man: »sinkt die Lufttemperatur oder nimmt der Luftdruck ab, so strömt Luft aus dem Boden, und

der CO_2 -Gehalt der Luft nimmt zu». Andere Faktoren werden nicht genannt, nur zwei, deren Bedeutung, wie wir sahen, von RAMANN auf ein Minimum reduziert wird.

MITSCHERLICH (1920 p. 172) behauptet ausdrücklich, dass in der Natur die Durchlüftung nur durch »klimatische Einflüsse« bewirkt wird; er nennt 1) eindringendes Wasser, 2) Luftdrucksschwankungen, 3) Erwärmung des Bodens und 4) Ansteigen und Fallen des Grundwasserstandes.

CLEMENTS (1921 p. 44) dagegen nennt als einzigen Faktor (ohne Motivierung) die Diffusion.

Um endlich einen Forstmann zu zitieren, gibt HARTIG (1900 p. 263) die folgenden Faktoren als wirksam an: Temperaturschwankungen (tägliche und jährliche) in den oberen Bodenschichten, Diffusionsprozesse und Eindringen sauerstoffhaltigen Wassers. Betreffend den ersten Punkt nimmt HARTIG an, dass ein durch einen Waldbestand nicht beschatteter Boden »leichter atmet« als der bewachsene Waldboden, und zwar vor allem deshalb, weil ersterer grösseren Temperaturschwankungen ausgesetzt ist.

Die angeführten Literaturstellen sind bezeichnend für die Behandlung, die die Frage grösstenteils bis jetzt erfahren hat, sowie für den entsprechenden Mangel an Übereinstimmung der Ansichten. Der einzige Forscher, der meines Wissens einen Versuch einer vergleichenden quantitativen Schätzung der Leistung verschiedener Faktoren gemacht hat, ist BUCKINGHAM (1904). Seine Arbeit, die aus dem physikalischen Laboratorium des amerikanischen Bureau of soils stammt, enthält einen sehr aufklärenden Vergleich zwischen zwei Faktoren, den Luftdrucksschwankungen und der Diffusion; der Vergleich ruht auf experimenteller Basis und hat ergeben, dass die Luftdrucksschwankungen nur eine gegen die Diffusion verschwindende Bedeutung haben können. Da die Behandlung nur zwei Faktoren betrifft, die beide nach RAMANN von sehr kleiner Bedeutung sein sollen, ist aber die Frage durch BUCKINGHAMS Arbeit lange nicht erschöpft. Wichtiger ist, dass LEATHER (1915), imperial agricultural chemist zu Pusa, Britisch-Indien, in einem konkreten Fall beim Vergleichen der nach BUCKINGHAMS Formeln berechneten diffundierten Mengen mit den auf Grund von Tatsachen zu forderndern eine befriedigende Übereinstimmung fand. Dementsprechend sieht er die Diffusion als den Hauptfaktor an. Trotzdem hat der Kollege LEATHERS, the imperial economic botanist zu Pusa (HOWARD & HOWARD 1915 b p. 6) gleichzeitig kein Wort für die Diffusion als Durchlüftungsfaktor, sondern spricht nur von Änderungen des Grundwasserstandes und von »other factors such as expansion and contraction due to changes in temperature, evaporation of soil moisture and changes in the atmospheric pressure«. Und das Ergebnis des Rechenbeispiels LEATHERS an Hand der Ziffern BUCKINGHAMS hindert nicht zwei amerikanische Ökologen zwei Jahre später aus denselben Ziffern herauszulesen, dass »the effect of diffusion alone has been shown by BUCKINGHAM to be extremely slow« (CANNON & FREE 1917).

Die Unklarheit auf dem Gebiet lässt also nichts zu wünschen übrig. Besagte Unklarheit ist aber eine grosse Schwierigkeit bei der Beurteilung darüber wie das Bodendurchlüftungsproblem eigentlich liegt. Ist HARTIG im Recht, wenn er sagt, dass die Durchlüftung nach Abholzung infolge der grösseren Temperaturamplitude im Boden verbessert wird? Ist CLEMENTS im Recht,

(1921 p. 104), wenn er die Ursache der günstigen Wirkung einer Bodenbearbeitung auf unseren norrländischen Kiefernheiden in einer verbesserten Bodendurchlüftung sieht? Es sei bemerkt, dass sich diese beiden Behauptungen nicht auf Analysen gründen. Die meisten solchen Fragen können natürlich in jedem Einzelfall durch fleissige vergleichende Bodenluftanalysen entschieden werden; wir werden später eben diese Fragen derart direkt auf empirischem Grund beleuchten. Jedoch sind ja solche Untersuchungen jedes einzelnen Falls sehr zeitraubend. Wenn der einzige Weg, sich ein Gesamtbild der Verhältnisse zur Beurteilung der allgemeinen Lage des Problems zu bilden, der wäre, ein Riesenmaterial von Bodenluftanalysen aus Waldbeständen aller denkbaren Abstufungen zusammenzuschaffen, so hätten wir einen langen Weg zu einem solchen Gesamtbild. Könnte man einen Einblick in den Mechanismus des Gasaustausches gewinnen und damit die Einwirkung verschiedener Faktoren auf denselben einigermassen zu durchschauen lernen, so wäre dies deshalb kein geringer Gewinn auch von rein praktischem Gesichtspunkt. Es ist ja auch so, dass so lange man nichts über die Kausalzusammenhänge weiss, man mehr oder weniger bewusst Hypothesen darüber aufstellt, wenn auch nur zu eigenem Gebrauch, und dass man sich dann oft unbewusst durch diese Hypothesen beim Urteilen und Handeln leiten lässt. In der Bodenluftliteratur gibt es Beispiele dafür, wie solche oft nicht einmal ausgesprochene Hypothesen die Einschätzung von Tatsachen beeinflusst haben. Wenn man z. B., wie RAMANN, MITSCHERLICH und viele andere, die »Permeabilität« des Bodens, d. h. seine Durchlässigkeit für durchgepresste Luft, als Mass für den Grad seiner Durchlüftung unter natürlichen Verhältnissen ansieht, so geht man von der Hypothese aus, dass Massenbewegungen der Luft bei der Durchlüftung die Hauptrolle, und die Diffusion eine untergeordnete Rolle spielt.

* * *

Derartige Gesichtspunkte haben mich zu einem Versuch veranlasst, mir an Hand zugänglicher Daten eine Auffassung von dem Mechanismus des Gasaustausches zu verschaffen. Die Auseinandersetzungen werden aus naheliegenden Gründen fast auf jedem Punkt einen sehr approximativen Charakter besitzen, die Überlegungen bewegen sich jedoch immer auf quantitativem Grund. Ich bin so vorgegangen, dass ich für jeden der in Frage kommenden Faktoren eine quantitative Schätzung seiner Leistungsfähigkeit versucht und das Ergebnis mit den oben für gewisse konkrete Fälle berechneten Minimalziffern für die tatsächliche Durchlüftung verglichen habe. Damit wird selbstverständlich auch ein Vergleich der Faktoren untereinander ermöglicht. Die ebengenannte oben berechnete Durchlüftungsziffer von bis rund 20 cm Tiefe in 1 Stunde wird im Folgenden kurz »Normaldurchlüftung« genannt, womit ja nicht behauptet sein soll, dass diese Ziffer wirklich ein gutes Mass für die tatsächliche durchschnittliche Durchlüftung der Böden aller Welt darstellt.

Die genannten Auseinandersetzungen bilden den Gegenstand der folgenden Darstellung. Da ich es nicht übernehmen kann, die ohnehin möglichst knapp gestaltete Darstellung unbeschadet der Begreiflichkeit noch kürzer zu resümieren, so ist aus Sparsamkeitsgründen die Darstellung in extenso deutsch gedruckt

worden; in dem schwedischen Text finden sich nur die Ergebnisse mitgeteilt, zu denen ich gelangt bin, und für die Motivierung der Schlussfolgerungen wird auf den deutschen Text verwiesen. Die in unseren Mitteilungen sonst übliche Ordnung ist also betreffs dieser Abteilung gerade umgekehrt worden.

Die in Frage kommenden Faktoren können auf die Rubriken Temperatur, Luftdruck, Wasser, Wind und Diffusion verteilt werden.

A. Temperatur.

Temperaturverschiedenheiten können in zweierlei Weise eine Durchlüftung im Boden bewirken. Einmal kommen zeitliche Schwankungen in den betreffenden Bodenschichten in Frage, indem sich die Bodenluft dem Temperaturgang im Boden entsprechend ausdehnen bzw. zusammenziehen muss. Weiterhin müssen Temperaturdifferenzen Boden—Luft, falls sie positiv sind, einen Anlass bilden zum Einströmen kälterer und schwererer atmosphärischer Luft in den Boden unter Verdrängung entsprechender Volumina Bodenluft.

Der Temperaturgang im Boden ist ein ausgesprochen periodischer mit teils einer täglichen, teils einer jährlichen Periode, von denen sich letztere $\sqrt{365}$, also 19 mal tiefer als erstere, eben noch bemerkbar macht. Die tägliche Temperaturschwankung wird meistens schon in etwa 1 m Tiefe unmerklich (HANN 1915 p. 53 und 48).

Über den Wärmeumsatz im Boden liegt eine ziemlich reiche Literatur vor. Es ergaben sich Unterschiede zwischen nacktem und bewachsenem Boden, zwischen Feld und Wald (vgl. ausser den unten zitierten Ziffern z. B. HAMBERG 1885) und noch grössere zwischen verschiedenen Bodenarten. HOMÉN (1897) fand in drei verschiedenen untersuchten Bodenarten den täglichen Wärmeumsatz am grössten im Granitfelsen, dann kam die Sandheide und am letzten die Moorbiese (vgl. auch VAGELER 1906), entsprechend dem verschiedenen Wärmeleitungsvermögen der Böden. Die Werte verhielten sich wie 16:9:4. Dabei ist die Wärmekapazität der Böden nach Volumen gerechnet ungefähr gleich, sogar grösser in der Moorbiese als in den beiden anderen Böden. Was die Temperaturamplituden betrifft, waren sie an der Oberfläche am grössten in der Sandheide und in den beiden übrigen Böden ungefähr gleich, gegen die Tiefe zu sinkt aber die Amplitude sehr rasch in der Moorbiese, langsam im Granitfelsen, während die Sandheide eine Mittelstellung einnimmt. Während drei Augusttagen war z. B. in 30 cm Tiefe die tägliche Amplitude in der Moorbiese $0,12^\circ$, in der Sandheide $1,82^\circ$ und im Granitfelsen $5,20^\circ$ (siehe des näheren HOMÉN, p. 48). Die tägliche Amplitude ist im Hochsommer am grössten, im Winter am niedrigsten (vgl. KRETZER 1912, p. 70, Beobachtungen aus Irkutsk).

Die tägliche Schwankung. Ziffern, die uns hier interessieren, sind nur solche, die in genügend kurzen Intervallen gemachte Temperaturbeobachtungen für verschiedene Tiefen bis etwa 1 m darstellen. Als am meisten für unsere Zwecke verwendbar habe ich MÜTTRICH'S (1886 p. 96—101) Beobachtungsserien mit 2-stündlichem Intervall aus Eberswalde gewählt. Diese umfassen eine Periode von 15 Hochsommertagen (16.—30. Juni 1879), und es wurde an zwei Stationen beobachtet, einer Wald- und einer benachbarten Feldstation, beide auf Sandboden gelegen.

Bei der Berechnung der Volumänderung der Bodenluft aus den Temperaturdaten habe ich jeweils die Temperatur innerhalb jeder der Schichten 0—7,5, 7,5—22,5, 22,5—45, 45—75, 75—105 und 105—135 cm als konstant angesehen und beziehungsweise gleich den jeweils abgelesenen Temperaturen in den Tiefen 0, 15, 30, 60, 90 und 120 cm. Unterhalb 135 cm habe ich die Temperatur als invariant angenommen. Der Einfachheit halber habe ich durchweg mit einer Volumänderung von 0,34 % pro Grad gerechnet; die vorkommenden Temperaturen sind zwischen 11° und 26° gelegen. Die für die Rechnung verwendeten Temperaturwerte sind die Mittel für die betreffenden Stunden aus den Beobachtungen der sämtlichen 15 Tage. Nach Berücksichtigung aller Schichten bis 135 cm in der angegebenen Weise findet man maximale Expansion um 4 Uhr nachm., maximale Kontraktion um 6 Uhr vorm. Die sich ergebende Längendifferenz zwischen grösster und kleinster Länge einer den betreffenden Temperaturschwankungen ausgesetzten Bodenluftsäule beträgt für die Feldstation 0,6 cm, für die Waldstation 0,3 cm. Diese Ziffern geben aber offenbar die Tiefen an, bis zu denen der betreffende Boden täglich durch den tagesperiodischen Gang der Temperatur einmal durchlüftet wird. Im Durchschnitt würde der Boden also dadurch pro Stunde bis zu $\frac{1}{4}$ mm (Feldstation) bzw. $\frac{1}{8}$ mm (Waldstation) Tiefe pro Stunde durchlüftet werden. Oben wurde als Normaldurchlüftung etwa 20 cm pro Stunde gefordert, also 800 bzw. 1 600 mal so viel. Auch wenn man mit einem Wärmeumsatz wie dem von HOMÉN im Granitfelsen gefundenen rechnen würde, bliebe der Effekt gegen die Normaldurchlüftung verschwindend klein.

Es darf noch bemerkt werden, dass die Beobachtungen MÜTTRICHS, die unserer Berechnung zugrunde lagen, im Hochsommer ausgeführt wurden, wo die Amplitude der Bodentemperatur am grössten ist. Weiter ist wie oben bemerkt in torfartigen Böden die Tagesamplitude geringer als im Sandboden. Viele Rohhumusböden werden sich den Torfböden nähern. Andererseits dürften die Amplituden in nacktem Ackerland im Sommer ein wenig grösser sein können als nach MÜTTRICHS Beobachtungen (vgl. KEEN & RUSSELL 1921). Die Grössenordnung bleibt jedoch dieselbe.

Die jährliche Schwankung. Den Einfluss der jährlichen Schwankung der Bodentemperatur habe ich an Hand der Isoplethentafel für Tiflis in HANNS Meteorologie (1915 p. 51) geschätzt. Nach v. BEZOLD (HANN p. 52) ist die Wärmemenge im Boden ein Maximum bzw. ein Minimum, wenn die Wärmeaufnahme an der Oberfläche in Abgabe übergeht, und umgekehrt. Die Zeiten, wo dies geschieht, sind nach der genannten Isoplethentafel September bzw. Februar. Die vertikale Temperaturverteilung zu diesen Zeiten kann derselben Isoplethentafel entnommen werden. Ich habe bei der Berechnung die Strecken zwischen zwei Isoplethen als von gleicher Temperatur angenommen gleich dem Mittel der beiden Werte der Grenzisoplethen. Die Berechnung liefert eine Längendifferenz der 15 m langen dem Temperaturwechsel ausgesetzten Bodenluftsäule von rund 2 dm zwischen Maximum und Minimum. Die Durchlüftung beträgt also in einem Jahr soviel wie oben für eine Stunde gefordert wurde, also rund 1/9 000. Tiflis hat ein ziemlich kontinentales Klima (Unterschied in der Lufttemperatur zwischen dem wärmsten und dem kältesten Monat des Jahres 24,7°, für Stockholm 20,1°, für Berlin 18,8°, für München 20,2°, für Paris 20,6°, alles nach der Zusammenstellung in HANNS Meteorologie).

Stärkere Erwärmung des Bodens gegenüber der Luft. Es kommt oft vor, dass der Boden höhere Temperatur besitzt als die daraufflagernde Luft. Die miterwärmte Bodenluft ist dann leichter als die freie Luft darüber und wird somit ein Bestreben haben, nach aufwärts zu entweichen, um durch schwerere kältere Luft von oben ersetzt zu werden. Der Durchlüftungseffekt eines solchen Temperaturunterschieds ist bestimmt, einerseits durch die Grösse des wirksamen Druckgefälles, andererseits durch den Reibungswiderstand gegen die Bewegung der Luft im Boden.

Wenn eine kältere und also schwerere Luftschicht eine wärmere, leichtere überlagerte, und die beiden Schichten durch eine vollkommen wagerechte Fläche getrennt wären, so würde zunächst nichts geschehen. Das Gleichgewicht ist aber labil; sobald irgendwo eine Neigung der Grenzfläche auftritt, entsteht eine beschleunigte Bewegung, die damit endet, dass das ganze System umkippt und ein stabiles Gleichgewicht hergestellt wird. Die treibende Kraft der Bewegung ist einfach die Differenz der Gewichte gleicher Volumina der schwereren und der leichteren Luft. Einigermassen ähnliche Vorgänge wie der skizzierte hat die dynamische Meteorologie gut mathematisch zu fassen gelernt, nämlich die Bewegung einer Luftmasse, die sich über zwei verschiedenen erwärmten Punkten der Erdoberfläche erstreckt und dadurch über diesen Punkten verschiedene Temperatur und Dichte angenommen hat. Jedoch hat man es in der Meteorologie nur mit Dichtigkeitsdifferenzen in hauptsächlich horizontaler Richtung zu tun und ist nicht genötigt gewesen, die Verhältnisse bei einer Ausgangslage zu behandeln, die sich dem oben beschriebenen Zustand nähert. Die sehr geringe Reibung in der freien Atmosphäre schliesst nämlich das Auftreten solcher Bedingungen aus. Anders bei dem Aus- und Einströmen der Luft im Boden. Hier spielt die Reibung eine Hauptrolle, und das macht auch, dass die kältere schwerere Luft vielleicht eigentlich nie in den Boden gelangen kann, denn beim Eintreten in den erwärmten Boden wird sie sofort erwärmt. Die Weglänge, die die frische Luft von oben in dem Boden zurücklegen kann, bis sie auf eine gewisse Temperatur erwärmt worden ist, d. h. gegebenenfalls die Tiefe, bis zu der eine Ventilation infolge der stärkeren Erwärmung des Bodens überhaupt denkbar ist, und die durchschnittlichen Triebkräfte der Strömung für eine gewisse Bodenschicht, sind wieder von der Reibung im Boden abhängig und somit von Fall zu Fall verschieden. Die Triebkräfte, mit denen man zu rechnen hat, sind also nicht nur von der Temperaturdifferenz bestimmt.

Auch nach Beratung mit dem Herrn Direktor des meteorologischen Zentralbüros J. W. SANDSTRÖM, der mich in zuvorkommender Weise das vorliegende Problem mit ihm hat diskutieren lassen, habe ich deshalb keinen Ausweg gefunden, den fraglichen Durchlüftungseffekt in exakterer Weise zu behandeln als in der groben, wie es im folgenden geschieht.

Angesichts der Unmöglichkeit, eine einigermaßen begründete Auffassung von der mittleren oder wahrscheinlichen Grösse der Triebkräfte zu gewinnen, habe ich getrachtet, wenigstens von den maximalen denkbaren eine Vorstellung zu gewinnen.

Denken wir uns eine zylindrische Erdprobe aus einem homogenen gleichmässig erwärmten Boden z. B. mittels eines Erdbohrers aufgenommen und mitsamt dem umgebenden Metallzylinder in die kältere Atmosphäre aufgehängt, so dass die freien Endflächen des Bodenzylinders nach oben bzw. unten

schauen. Die erwärmte Bodenluft wird dann durch die obere Endfläche entweichen und durch die untere Endfläche durch atmosphärische Luft ersetzt werden. Die Geschwindigkeit dieser Strömung wird teils von dem Druckgefälle, teils vom Reibungswiderstand abhängen. Die Differenz der Drucke pro 1 cm^2 Porenquerschnitt der unteren und 1 cm^2 der oberen Endfläche wird gleich sein der Differenz der Gewichte einer Säule der kälteren umgebenden Luft und einer der Bodenluft, beide von 1 cm^2 Querschnitt und der Höhe h des Bodenzylinders. Dieser Druckunterschied verteilt sich auf dieselbe Länge h . Das Druckgefälle D/h in vertikaler Richtung wird also, wenn s_B das spezifische Gewicht der Bodenluft, s_L dasjenige der Luft ist (beide auf Wasser bezogen):

$$D/h = (h \cdot s_L - h \cdot s_B) : h = s_L - s_B,$$

in cm Wassersäule pro cm. Wenn t_L die Temperatur der Luft, t_B diejenige des Bodens und s_0 das spezifische Gewicht der Luft bei 0° ist, wird das Druckgefälle:

$$D/h = s_0 \cdot \left(\frac{1}{1 + \frac{t_L}{273}} - \frac{1}{1 + \frac{t_B}{273}} \right) = \left(\frac{1}{1 + \frac{t_L}{273}} - \frac{1}{1 + \frac{t_B}{273}} \right) \cdot 0,0013,$$

falls die Temperatur der Bodenluft stets und überall gleich derjenigen des Bodens bleibt. Für gewöhnliche Temperaturen kann man mit für die jetzige Überlegung hinreichender Genauigkeit setzen:

$$D/h = (t_B^\circ - t_L^\circ) \cdot 0,000004 \text{ cm Wasser/cm} = (t_B^\circ - t_L^\circ) \cdot 0,004 \text{ mm Wasser/m}.$$

Wenn wir uns nun den Bodenzylinder in den Boden zurückgesetzt denken, so hat die freie Luft nicht mehr freien Zugang an seine untere Grenzfläche. Luft von der niedrigeren Temperatur wird überhaupt nicht an diese Fläche gelangen, sie muss auf dem Wege erwärmt werden, und sie hat auf dem Weg einen Reibungswiderstand zu überwinden, der vorher fehlte. Man könnte versucht sein, die Berechnung den natürlichen Verhältnissen besser anzupassen dadurch, dass man den Druckunterschied auf die doppelte Länge sich verteilen liesse, also die Hälfte des obigen Wertes für D/h nähme. Dadurch ginge aber möglicherweise der Charakter als Maximalwert des berechneten D/h verloren, weil der Reibungswiderstand für die Ersatzluft nicht notwendig gleich demjenigen der aufströmenden Bodenluft sein muss. Denn als Ersatz für 1 lit. Bodenluft, die durch einen Querschnitt von 1 dm^2 ausströmt, kann ja ein gleiches Volum Bodenluft von allen Seiten her durch einen allmählich immer grösseren Querschnitt nachströmen um ihrerseits auf sehr breiter Front in der Umgebung durch frische Luft von oben ersetzt zu werden. Wir unterlassen also die entsprechende Reduktion des angegebenen Druckgefälles. Das eben über die mögliche Zuströmung von den Seiten Gesagte erinnert uns aber daran, dass nunmehr der Metallzylinder um die Bodenprobe fehlt. Seitliche Bewegungen innerhalb der Bodenprobe, zu denen vorher kein Anlass bestand, werden also vorkommen können, und werden innerhalb des Bodens als Ganzes vorkommen müssen, denn die auf- und absteigenden Strömungen müssen miteinander durch seitliche sozusagen verbunden werden. In Wirklichkeit wird sich wohl die Sache so gestalten, dass die Bodenluft von den Gipfeln kleiner und kleinster Bodenerhebungen wie aus einem Schornstein ent-

Tabelle VI. Zusammenstellung einiger beobachteter Temperaturdifferenzen $t_B - t_L$ verschiedener Bodenniveaus, für

Stunden: Station	<u>12</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
Eberswalde, Preussen; Feldstation.	2,9		2,7		2,6		1,1		—		1,6		3,2		4,2	
D:o; Waldstation.	1,4		1,4		1,3		0,4		—		—		—		—	
D:o; Feldstation.	2,7		2,8		2,6		1,4		—		—		—		—	
D:o; Waldstation.	0,7		0,9		0,9		0,4		—		—		—		—	
D:o; Feldstation.	—		—		—		—		—		—		—		—	
D:o; Waldstation.	—		—		0,1		0,1		—		—		—		—	
Karislojo, Finnland; Sand- heide mit Gras und <i>Myr-</i> <i>tillus</i> .	3,3	3,5	3,6	3,4	3,2	1,9	0,1	0,1	0,0	0,5	—	0,2	1,5	1,7	0,5	0,7
D:o; Moorwiese.	5,1	5,6	6,2	6,6	6,6	6,0	2,0	—	—	—	—	0,1	—	—	—	0,2
Taihoku, Japan; Rasen auf Lehmboden.	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	1,8	1,4	1,7	2,6	3,7	4,6	5,1	5,0	4,3	4,0
Tadotsu, Japan; Rasen.	3,3	3,2	3,2	3,1	3,0	3,0	2,9	2,4	3,3	5,5	8,4	11,0	13,0	13,7	13,3	11,8

weicht und dafür atmosphärische Luft an benachbarten Stellen von kleinen Vertiefungen her in den Boden eindringt. Dazwischen werden vermittelnde seitliche Strömungen auftreten. Ein gewisses Bodenluftvolumen als Ganzes betrachtet wird also eine sozusagen drehende Bewegung ausführen. Wir erinnern uns aber, dass die Höhe h der Bodenmasse, in der die Aufwärtsbewegung bestand, aus unserer Formel oben verschwand. Die kleinen Schornsteine, in denen die Bodenluft nach aufwärts strömt, mögen also hoch oder niedrig sein, das Gefälle, das die Bodenluft in die Höhe treibt, kann doch bei ge-

zwischen innerer Bodenoberfläche und Atmosphäre, bzw. Differenzen $T-t$ einiger die verschiedenen Tagesstunden.

4	5	6	7	8	9	10	11	Positive effektive Durchschn.- Differenz	Bemerkungen
3,6		1,4		2,4		3,3		2,4	t_B = Durchschnittstemp. 16.—30. Juni 1879 der inneren Oberfläche für die betr. Stunden. t_L = Lufttemp. in Schutzkasten 1,5 m hoch, Durchschnitt für dieselbe Zeit und Stunden.
—	—	—		0,6		1,5		0,6	D:o
—		0,4		2,0		2,8		1,2	T = Durchschnittstemperaturen wie oben, das Niveau 15 cm tief betreffend. t = Oberflächentemperaturen = t_B oben.
—	—	—		—		0,4		0,3	D:o
—	—	—		—		—		0,0	T = Durchschnittstemperaturen wie oben für das Niveau 30 cm tief. t = entsprechende Temperaturen für 15 cm = T oben.
—	—	—		—		—		0,0	D:o
0,9	1,6	1,6	2,3	2,2	2,8	2,7	3,1	1,7 (1,3)	$t_B - t_L$ für jede Stunde Mittel aus den Einzeldifferenzen; negative Werte als Null gerechnet; Beobachtungsperiode 10.—17. Aug. 1893; beobachtete t_B = Temperaturen 1 cm tief, t_L = Temperaturen »im Grase«.
0,2	0,9	2,1	3,3	4,2	4,5	4,7	4,9	2,6 (2,5)	
3,4	2,8	2,4	2,3	2,2	2,1	2,1	2,1	2,8	t_B = 12-jährige Mittel (1897—1908) für Juli und die betr. Stunden der Temp. der inneren Oberfläche; t_L ebenso für die Lufttemperatur 1,2 m hoch.
9,6	7,1	5,3	4,3	3,9	3,7	3,5	3,4	6,0	t_B = 16-jährige Mittel (1893—1908) für Aug. und die betr. Stunden der Temp. der inneren Oberfläche; t_L ebenso, Lufttemperatur 1,2 m hoch.

gegebenem Temperaturunterschied zwischen den Schornsteinen und der atmosphärischen Luft niemals die nach unserer Formel berechneten Werte übersteigen. Dagegen hat die Ersatzluft immer einen extra Widerstand zu überwinden, den wir nicht in die Rechnung gezogen haben. Die berechneten Durchlüftungswerte werden also jedenfalls Maximalwerte darstellen.

In Tab. VI sind einige Temperaturdifferenzen $t_B - t_L$ zusammengestellt, berechnet aus Beobachtungen zu Eberswalde, Deutschland, zu Karislojo in Finnland und an zwei japanischen Stationen (MÜTTRICH 1886, p. 96—103,

HOMÉN 1897, p. 27—40, KRETZER 1912, p. 34—35 und 48—49). Die zwei gewählten japanischen Stationen sind diejenigen, die für den Monat, der die maximale Mitteldifferenz Boden—Luft zeigt, den kleinsten bzw. grössten Wert dieses Mittels unter den angeführten 16 Stationen zeigen. Der gewählte Monat ist der, der für die betreffende Station die grösste Durchschnittsdifferenz des ganzen Jahres zeigt. Negative Differenzen sind als Null gerechnet und, falls für die betreffende Stunde nur negative oder Nullwerte vorkommen, statt einer Ziffer nur ein Strich in die Tabelle gesetzt. Als »positive effektive Durchschnittsdifferenz« ist endlich das Mittel der positiven Stundenwerte, die negativen als Null gerechnet, angegeben. Wir werden gleich von diesen Ziffern Gebrauch machen.

Zuerst wollen wir aber die Reibungswiderstände gegen die Luftbewegung im Boden ins Auge fassen. Es liegen besonders von agrikulturwissenschaftlicher Seite Untersuchungen über die sogenannte Permeabilität des Bodens vor. Die Resultate zweier Forscher (WOLLNY 1893, BUCKINGHAM 1904) sind in Tab. VII zusammengestellt.

Die in der Tabelle gegebenen Ziffern sind aus den Originaldaten umgerechnet unter der Voraussetzung, dass die geförderte Luftmenge proportional

Tab. VII. Geschwindigkeit des Luftstromes in cm pro Stunde durch verschiedene Bodenarten bei einem Druckgefälle von 1 mm Wasser pro m (cm^3 Luft durch 1 cm^2 Porenquerschnitt pro Stunde bei dem angegebenen Druckgefälle).

Sortiment	Lagerung	Luftstrom	Sortiment	Lagerung	Luftstrom
Quarzsand I	fest	0,2	Garden loam (trocken)	locker	1
» II	»	4	» » »	fest	0,6
» III	»	9	» » (18,6 % aq)	locker	26
» IV	»	17	» » » » »	mittel	9
» V	»	45	» » » » »	fest	4
» VI	»	93	Cecil clay (19,6 % aq)	locker	123 bis 128
» VII	»	406	» » » » »	mittel	38 » 39
» I—VII	»	3	» » » » »	fest	13
Kaolin	»	0,1	» » (20,1 % aq)	locker	125 bis 129
Lehmkrümel	locker	c:a 1 400	» » » » »	fester	21
»	mittel	» 550	d:o bewässert	»	9 bis 12
»	fest	» 0,2	Windsor sand (4,2 % aq)	locker	103
Dune sand	locker	66	« » » » »	fester	15
» »	fest	12	d:o bewässert	»	6

Bemerkungen: Deutsche Sortimentsnamen bezeichnen Resultate aus WOLLNY, englische aus BUCKINGHAM. Die Quarzsandsortimente I bis VII haben bezw. die folgenden Korngrößen in mm: 0,01—0,07; 0,07—0,11; 0,11—0,17; 0,17—0,25; 0,25—0,50; 0,5—1,0; 1,0—2,0. Das Sortiment Lehmkrümel bestand aus einem Gemisch von 0,5 bis 4 mm grossen Krümeln und wurde feucht verwendet. Die Ziffern in der Tabelle sind sämtlich aus den Originaldaten berechnete Zahlen, vgl. die Bemerkungen darüber im Text.

dem Druckgefälle variiert. Dies gilt nach WOLLNY (1893 p. 204—205) solange die Geschwindigkeiten nicht mehr als 5 cm pro sek. betragen, also nicht mehr als 18 000 cm pro Stunde. Oberhalb dieser Grenze nimmt der Luftstrom langsamer zu als in Proportion zu dem Gefälle. Bei der Berechnung der Tabelle liegen für die zwei lockersten Lagerungen des Lehmkrümelgemisches die benutzten Originaldaten oberhalb der genannten Grenze und wären somit schon aus dem Grunde ungenau. Sie sind es auch wegen Unsicherheit des verwendeten Porositätswertes. Die Originaldaten betreffen nämlich pro Einheit Bodenquerschnitt geförderte Luftmenge. Sie sind auf Einheit Porenquerschnitt umgerechnet unter Verwendung, für BUCKINGHAMS Material der vom Autor selbst mitgeteilten Porositätsziffern, für WOLLNYS Material im allgemeinen der von HANNÉN (1892) mitgeteilten Porositätsziffern für ganz dieselben Sortimente in derselben Lagerung. Für das Sortiment Lehmkrümel habe ich aber ein von HANNÉN (p. 22) mitgeteiltes luftgefülltes Porenvolum für ähnliches, aber nicht gleiches Lehmkrümelmaterial mit einem Wassergehalt entsprechend der kleinsten Wasserkapazität verwenden müssen. Dieser Wert wurde für WOLLNYS Sortiment in fester Lagerung direkt verwendet, für mittelfeste und lockere Lagerung daraus die entsprechenden Porenvolumina nach bei WOLLNY sich vorfindenden Angaben berechnet. Die Porenvolumina für lockere, mittlere und feste Lagerung werden so bezw. 48 %, 41 % und 33 %. Diese Zahlen sind offenbar unsicher, und somit auch die entsprechenden Geschwindigkeiten für das Lehmkrümelssortiment in der Tabelle. (Die relative Grösse dieser Werte untereinander ist jedoch zuverlässig.) Für die übrigen Sortimente WOLLNYS dürften die Porenquerschnitte, mit denen ich gerechnet habe, ziemlich genau die richtigen sein, obgleich die angewandte Methode, die Werte anderswoher zu holen, gewagt erscheinen möge. Die von HANNÉN und WOLLNY verwendeten Sortimente sind nämlich genau dieselben; ausserdem bietet sich in zwei Fällen die Möglichkeit einer Kontrolle, nämlich für Sand VI und VII, für die WOLLNY selbst (p. 204—205) die Porositäten angibt:

	Berechnet nach HANNÉNS Ziffern.	Angabe bei WOLLNY.
Porosität von Sand VI in fester Lagerung	39,4 %	39,1 %
» » » VII » » »	37,6 %	37,8 %

Die Übereinstimmung scheint mir sehr befriedigend, und ich nehme an, dass die Ziffern HANNÉNS auch für die übrigen Sortimente ohne grosse Fehler für die Berechnung verwendet werden können.

Aus der Tabelle geht hervor, dass die Permeabilität verschiedener Böden ausserordentlich verschieden ist, indem die Werte mit der Korngrösse, der Struktur und dem Packungsgrad des Bodens innerhalb weitester Grenzen variieren. Wie Packung des Bodens wirkt auch Bewässerung desselben kräftig erniedrigend auf seine Permeabilität.

Wir kehren nunmehr zu der Tabelle VI oben zurück, und zwar wollen wir jetzt die Kolonne »positive effektive Durchschnittsdifferenz« betrachten. Es ist klar, dass wenn man die vereinfachte Formel oben $D/h = (t_B - t_L) \cdot 0,004$ annimmt, die Ziffern der genannten Kolonne, in die Formel anstatt der Parenthese eingesetzt, einen (Maximal-)Näherungswert für das durchschnittliche wirksame Druckgefälle während des Tages ergeben, der dann mit den Ziffern der Tabelle multipliziert die (maximale) durchschnittliche Geschwindigkeit des

Entweichens der Bodenluft unter den betreffenden Verhältnissen aus Böden der betreffenden Korngrösse ergibt. Es herrscht ja direkte einfache Proportionalität, man kann also Mittelwerte verwenden.

Nehmen wir z. B. zunächst den letzten, grössten Wert der Tabelle, den für Tadotsu während des günstigsten Monats, so bekommt man ein Gefälle von $0,024$ mm Wasser pro m. Dieser Wert mit dem grössten Wert der Tabelle VII, dem für Lehmkrümel in lockerer Lagerung, kombiniert gibt einen Luftstrom von 34 cm pro Stunde, mit dem nächsthöchsten Wert, dem für Lehmkrümel in mitteldichter Lagerung, 13 cm pro Stunde. Der höchste Wert BUCKINGHAMS, der für »Cecil clay« mit $20,1$ % Wasser (»somewhat lumpy«), gibt $3,1$ cm pro Stunde. Nimmt man den, abgesehen von den krümeligen Lehmsortimenten, höchsten Wert BUCKINGHAMS, den für »Dune sand« in lockerer Lagerung, so ergibt sich $1,6$ cm pro Stunde.

Geht man an Stelle des hohen Wertes für Tadotsu von dem Wert für die Eberswalder Feldstation (Erdoberfläche) aus, werden alle Werte $0,4$ von den früheren, also z. B. für lockeren dune sand $0,6$ cm pro Stunde. Um eine Schätzung des grösstmöglichen Effektes in einem natürlichen Waldboden Schwedens unter günstigen Verhältnissen zu erhalten (ich denke zunächst an eine schütterere Kiefernheide), kombiniere ich die Differenzwerte HOMÉNS für die finnische Sandheide mit dem Permeabilitätswert für BUCKINGHAMS dune sand in fester Lagerung und bekomme einen Luftstrom von $0,08$ cm pro Stunde.

Die berechneten Ziffern betreffen die Ausströmungsgeschwindigkeit der Bodenluft an den Stellen, wo ein solches Ausströmen stattfindet. Das Einströmen der entsprechenden Mengen Ersatzluft muss an dazwischenliegenden Punkten der Oberfläche stattfinden. Da nun für einmalige Durchlüftung eines gewissen Bodenvolums die Bodenluft durch frische Luft einmal vollständig ersetzt werden soll, wird der (maximale) durchschnittliche Durchlüftungseffekt für ein den entsprechenden Verhältnissen ausgesetztes Bodenstück gegebener Bodenbeschaffenheit kleiner als ihn die Ziffern der Geschwindigkeit des Luftstromes angeben, und zwar wohl etwa die Hälfte davon.

Auf Grund unserer Schätzungen kann einerseits die Möglichkeit einer wesentlichen Mitwirkung der uns beschäftigenden Temperaturdifferenzen in krümeligem Ackerboden unter günstigen Verhältnissen nicht geleugnet werden, andererseits kann der Effekt in unseren natürlichen Waldböden nur verschwindend sein, z. B. für einen besonders günstigen Fall nicht $1/240$, wahrscheinlich nicht einmal $1/480$, von der Normaldurchlüftung übersteigen. Verschiedene Gründe machen die letzte Schlussfolgerung sicherer als die erste. Einmal haben wir ja unsere Formel so abgeleitet, dass wir Maximalwerte bekommen mussten. Andererseits muss man daran denken, dass die nackten Differenzwerte $t_B - t_L$ zum Teil missweisend sind. Die Differenzwerte, mit denen wir gerechnet haben, betreffen den Unterschied zwischen der Oberfläche selbst und der Luft. Eine entsprechende Durchlüftung ist daher zunächst nur in einer sehr dünnen Oberflächenschicht zu erwarten. Zum Vergleich sind in der Tabelle für die Eberswalder Stationen die Differenzen zwischen der Tiefe 15 cm und der Luft angegeben. Sie betragen die Hälfte der Differenzen Oberfläche—Luft. Ferner muss dieselbe gemessene Differenz zwischen dem Boden in z. B. 2 cm Tiefe und der Luft ganz anders wirken, je nachdem der Boden in z. B. $0-1$ cm Tiefe stärker oder schwächer er-

wärmt ist als in 2 cm Tiefe. Im ersten Fall muss höchstwahrscheinlich eine Auslüftung infolge der genannten Temperaturdifferenz in der Tiefe 2 cm auf einem planen Boden ganz ausbleiben, im letzten Fall ist sie möglich. Bei einem Vergleich der Zeilen 1 mit 3 und 2 mit 4 in der Tabelle VI findet man, dass in den betreffenden Junitagen in Eberswalde das Niveau 15 cm tief auf dem Felde nur in einer kurzen Periode um 2 Uhr nachts wärmer gewesen ist als die Oberfläche, und im Walde überhaupt nie. Auf beiden Stationen war, wie die Zeilen 5 und 6 der Tabelle zeigen, die Tiefe 30 cm praktisch nie wärmer als die Tiefe 15 cm. Die Durchlüftung wird also einmal langsamer von statten gehen, als wir es berechnet haben, und dann auch öfters nur eine dünne Oberflächenschicht betreffen können. Ein Durchlüftungseffekt in Tiefen, die die allerobersten paar cm übersteigen, wird man kaum als nur unter ganz bestimmten Bedingungen erwarten können. Diese Bedingungen treffen ein: während der nächtlichen Abkühlung, vorzüglich im Herbst. Die Beobachtungen HOMÉNS, die Mitte August in Finnland gemacht wurden, geben eine gute Vorstellung von den dann in den Böden unserer Breiten obwaltenden Verhältnissen. Aus den Geothermentafeln HOMÉNS kann man sofort entnehmen, dass in den Stunden 7 Abends bis 6 Morgens die Temperaturverteilung für eine Durchlüftung durch stärkere Erwärmung des Bodens günstig gewesen ist, indem die Temperatur dann gegen die Tiefe bis zu einer gewissen Grenze immer steigt. Diese Grenze, und somit die grösste Tiefe, zu der wenigstens in einem planen Boden eine Durchlüftung wie die uns beschäftigende möglich ist, liegt zu verschiedenen Tagesstunden in verschiedenen Tiefen, bis zu etwa 30 cm tief in der Sandheide, bis zu etwa 10 cm in der Moorbiese. Die Zahlen in Klammern, Zeile 7 und 8 in der Tabelle VI, geben die positive effektive Durchschnittsdifferenz zwischen Boden 1 cm tief und der Luft nach HOMÉNS Werten an, wenn man nur die günstigen Stunden mitrechnet. Der Maximalwert für den tagesdurchschnittlichen Durchlüftungseffekt der Bodenerwärmung in den obersten Schichten eines hochpermeablen Waldbodens unter den günstigsten Verhältnissen des Jahres in unseren Breiten muss also gegen die obige Berechnung noch reduziert werden und kann kaum über etwa $0,3 \text{ mm} = 1/650$ Normaldurchlüftung betragen.

WOLLNY hat auch lufttrockenen »Torf« auf seine Permeabilität untersucht; die geförderten Luftmengen pro Querschnitt Boden entsprechen ungefähr denjenigen für das Quarzsandsortiment IV. Über die Porosität findet sich keine Angabe, sie war wohl doch eher grösser als kleiner als die des genannten Sandsortiments (42,7 %), die Ziffer für die Geschwindigkeit des Luftstromes würde also eher kleiner als grösser ausfallen. Die Ziffer für den Sand IV liegt ganz nahe derjenigen für dune sand, mit der wir eben rechnet.

Zu der oben zugegebenen Möglichkeit einer beträchtlichen Durchlüftung krümeliger Ackererde durch Temperaturdifferenzen Boden—Luft kann bemerkt werden, dass RUSSELL & APPELYARD tatsächlich unter bestimmten Verhältnissen, nämlich »on a warm day preceded by a frosty night« in Ackerboden besonders kleine Werte der CO_2 und des O_2 -Defizits gefunden haben, also wohl im Herbst nach besonders günstigen Nächten. Es ist wohl jedoch nicht ausgeschlossen, dass die Nachtkälte auf die Aktivität im Boden mehr als auf den Gasaustausch einwirkte.

B. Luftdruck.

Die mittlere Jahresschwankung des Luftdrucks beträgt für unsere Breiten etwa 7—8 % des Normaldrucks (vgl. die Zifferbeispiele bei HANN 1915 p. 208). Die Tiefe, bis zu der die Luftdrucksschwankungen in einem homogen lufthaltigen Boden überhaupt eine Durchlüftung bewirken können, beträgt demnach etwa 7—8 % der lufterfüllten Schicht, d. h. der Tiefe bis zum Grundwasser oder festem Untergrund. Ebenso wird die Tiefe, bis zu der der Boden in der Zeiteinheit durch eine Barometervariation von gegebener Stärke durchlüftet wird, zu der Mächtigkeit der lufterfüllten Bodenschichten in einem gewissen Verhältnis stehen.

Periodische und unperiodische Schwankung. Die Barometerschwankungen haben in verschiedenen Breiten einen höchst verschiedenen Charakter. In den Tropen ist die Schwankung sehr regelmässig periodisch, eine halbtägige Periode mit 2—3 mm Amplitude zeigend. In unseren Breiten ist diese Periodizität so geschwächt, dass sie nicht mehr aus den Barographenkurven direkt herausgelesen werden kann, denn sie wird von Schwankungen von längerer Periode, meist von mehreren Tagen, und grösserer Amplitude ganz überdeckt. (HANN p. 203). Als Mass für die Ausgiebigkeit der letzten Schwankungen, die uns also vornehmlich interessieren, haben die Meteorologen die mittlere »unperiodische tägliche Barometerschwankung« berechnet, die wir direkt verwenden können, um den mittleren Ventilationseffekt der Luftdrucksschwankungen in unseren Breiten zu schätzen. Dieselbe ist grösser im Winter als im Sommer und beträgt für das Jahr in unseren Breiten etwa 4—5 mm (HANN p. 206). Das heisst, der Unterschied zwischen höchstem und niedrigstem Barometerstand in einem Tage beträgt im Mittel für das Jahr 4—5 mm. Eine Bodenluftsäule muss sich also unter dem Einfluss dieser Schwankungen im Mittel täglich um 0,5 bis 0,7 % ausdehnen oder verkürzen. Da, wie gesagt, die unperiodischen Luftdrucksschwankungen fast stets mehr als einen Tag umfassen, so dass die genannten Differenzen nur Bruchstücke der wahren Druckwellen sind (HANN p. 206—207), wird eine vollständige Durchlüftung bis zur entsprechenden Tiefe nicht in einem Tag vollbracht, sondern durch die Streckung der Bodenluftsäule an einem Tag und entsprechende Verkürzung an einem folgenden. Die mittlere Durchlüftung wird also 0,5—0,7 % in zwei Tagen, also 0,25—0,35 % der Tiefe pro Tag, das macht 0,01—0,015 % der Tiefe pro Stunde. In den Tropen dagegen wird man mit einer Durchlüftung zweimal täglich von $\frac{2}{760}$ bis $\frac{3}{760} = 0,3$ bis 0,4 % der Tiefe rechnen können, d. h. bis zu 0,3—0,4 % der Tiefe wird der Boden im Durchschnitt zu 0,02—0,03 % der Tiefe pro Stunde durchlüftet.

Wenn wir anstatt der durchschnittlichen Verhältnisse die günstigeren Perioden betrachten wollen, können wir als Ausgangspunkt die normale Neigung der Barometerkurve während einer Sturmperiode nehmen. Dieselbe beträgt in Schweden nach freundlicher Angabe des Herrn Staatsmeteorologen T. BERGERON etwa 2—4 mm in 3 Stunden. Das absolute Maximum (1 bis 2 mal jährlich eintreffend) pflegt 3 mm pro Stunde zu sein. Auch während einer Sturmperiode schwankt aber der Luftdruck nicht fortwährend mit dieser Schnelligkeit. Im Gegenteil, während etwa 50 % der Zeit verläuft die Kurve gewöhnlich ziemlich horizontal. Nehmen wir an, dass das Barometer während

$\frac{1}{3}$ der Zeit fällt, während $\frac{1}{3}$ still steht und im letzten Drittel zur normalen Höhe zurückkehrt. Wir erhalten dann als das Normale für eine Sturmperiode eine Durchlüftung von im Durchschnitt $0,03—0,06$ % der Tiefe pro Stunde. Ein- bis zweimal im Jahr endlich würde man während einer kurzen Periode eine Durchlüftung von durchschnittlich $0,13$ % der Tiefe pro Stunde zu erwarten haben. Alles das bedeutet, in cm pro Stunde:

	für eine 10 m mächtige luft- haltige Schicht	für eine 1 m mächtige luft- haltige Schicht
Durchschnittlich für unsere Breiten	$0,1$ bis $0,15$	$0,01$ bis $0,015$
In Sturmperioden normal für unsere Breiten...	$0,3$ » $0,6$	$0,03$ » $0,06$
Ein- bis zweimal im Jahr » » » ...	$1,3$	$0,13$
Durchschnittlich in der Tropen	$0,2$ bis $0,3$	$0,02$ bis $0,08$

Die Zahlen variieren also, wenn man mit einer 10 m Schicht rechnet, zwischen $\frac{1}{200}$ und $\frac{1}{15}$, und wenn die Schicht nur 1 m ist, zwischen $\frac{1}{2000}$ und $\frac{1}{150}$ Normaldurchlüftung; dabei sind auch die extrem günstigen Perioden mit berücksichtigt. Alle diese Zahlen sind aber Maximalzahlen, indem sie voraussetzen, dass die Druckunterschiede sich durch die ganze Bodenschicht hindurch ausgleichen, so dass die Ausdehnung und Kontraktion der Bodenluft immer genau den Barometerschwankungen folgen. In Wirklichkeit werden die Reibungswiderstände im Boden die Amplituden der Barometerwellen gegen die Tiefe zu dämpfen. BUCKINGHAM, der eine Berechnung über den Durchlüftungseffekt der Barometerschwankungen gemacht hat, hat sich die Mühe gegeben, auch diese Dämpfung zu berücksichtigen. Ich finde es unnütz hierauf einzugehen, da die Werte ohnehin so klein sind. Eine andere Sache verdient mehr Aufmerksamkeit. Die obigen Berechnungen wie diejenigen BUCKINGHAMS setzen nämlich homogen lufthaltigen Boden voraus. Wenn aber eine weniger poröse Schicht auf einer poröseren ruht, ist die Möglichkeit einer ausgiebigeren Ventilation der ersteren als nach unseren Berechnungen vorhanden. Wenn z. B. eine 1 m Schicht von 10 % Luftgehalt auf einer 50 % lufthaltigen Schicht von 10 m Mächtigkeit ruht, werden die zu erwartenden Ventilationsziffern rund die 5-fachen der obigen für eine 10 m Schicht berechneten, also z. B. im Durchschnitt $0,5—0,75$ cm pro Stunde und ein- bis zweimal im Jahr $6,5$ cm pro Stunde. Und wenn eine Schicht von undurchlässigem kompaktem Lehm auf einer mächtigen Geröllschicht lagert, so werden unter Umständen durch einzelne vorhandene Löcher in der ersteren recht ergiebige Strömungen entstehen können.

Es ist also unserem negativen Hauptresultat durchaus nicht widersprechend, dass man in der Tat eben unter Verhältnissen wie die soeben skizzierten ein deutliches Aus- bzw. Einstromen von Luft entsprechend den Barometervariationen hat beobachten können. Hierher gehören die Berichte über Erstickungsunfälle bei Brunnengraben etc. in derartigen Gebieten; solche kommen bei fallendem Barometer vor, während dieselben Brunnen sonst ungefährlich sind. KROGH (1903), der einen solchen Fall studiert hat, erzählt von einem Brunnen in derselben Gegend, der bis auf eine kleine Öffnung zugemauert war, und der als ein »sehr empfindliches Barometer« verwendet werden konnte, denn bei Luftdruckänderungen strömte fühlbar durch dieses Loch Luft aus oder ein. Der Bericht KROGHs hebt ausdrücklich die eigentüm-

lichen geologischen Verhältnisse der betreffenden Gegend hervor; sie stimmen mit den oben skizzierten überein¹.

Von derartigen seltenen Fällen abgesehen, wird man aber einen nennenswerten Einfluss der Barometerschwankungen auf die Bodendurchlüftung verneinen müssen. Was im besonderen die natürlichen Waldböden Schwedens betrifft, so ist zu bemerken, dass man ziemlich selten mit einer Mächtigkeit der lufthaltigen Schicht von 10 m rechnen darf. Für grosse Gebiete trifft 1 m Mächtigkeit eher als 10 m die Wirklichkeit.

Mehrere Forscher haben einen Zusammenhang zwischen Barometerschwankungen und dem Gehalt der Bodenluft an CO₂ oder O₂ gesucht. So FODOR (1875, 1881—1882), der einen solchen Zusammenhang wirklich zu finden glaubte, jedoch nicht von der Regelmässigkeit, die er erwartete, weiter WOLFF-HÜGEL (1877), der keinen Zusammenhang mit den Barometerschwankungen an und für sich fand, wohl aber mit dem Wind, und RUSSELL & APPLEYARD, die einmal während einer Periode mit schnell fallendem Barometer einen steigenden CO₂-Gehalt der Bodenluft konstatierten. »But when the whole of our CO₂-figures are plotted against barometric pressures or even against changes in barometric pressure, no consistent relationship can be observed» (1915, p. 34). Eine sehr merkwürdige Angabe stammt von TURPIN (1920), der einen Zusammenhang findet zwischen dem Barometerstand und dem CO₂-Gehalt in der Bodenluft in freistehenden Kulturgefässen aus Blech. »High pressures produced low contents of carbon dioxide» (p. 337), »very low atmospheric pressures were usually accompanied by an increase in the content of carbon dioxide in the bare soil» (p. 348). Dabei ist zu bemerken, dass TURPIN die Analysenproben vom Boden der Gefässe aus holte. Es ist also ausgeschlossen, dass die Erscheinung etwas mit einer Ventilation der Gefässe durch Barometervariationen zu tun hat. Falls etwas an der Sache ist, dürfte man die Erklärung vielmehr in einem Einfluss auf die CO₂-Produktion zu suchen haben und den Fall in Parallele setzen zu den Erfahrungen HENRICIS (1918) über abnorm (bis etwa 7 mal) gesteigerte Assimilationsintensität vor Gewittern. Der Zusammenhang nach TURPINs Daten ist jedoch zahlenmässig jedenfalls sehr unsicher. Ich habe nach den Daten in seiner Figur 50 (p. 336) die Korrelation zwischen Barometerstand und CO₂-Gehalt berechnet und einen Korrelationskoeffizienten von $-0,32 \pm 0,19$ gefunden.

Mikrobarische Variationen. Bei unseren obigen Überlegungen haben wir nicht die mikrobarischen Schwankungen erwähnt. Es werden bekanntlich kleine kurzdauernde Schwankungen von etwa 4—20 Minuten Dauer so genannt. Diese verlaufen zwar sehr schnell, sind aber von so geringer Amplitude — sie sind an einem gewöhnlichen Barometer nicht einmal bemerkbar —, dass sie gar nicht in Betracht kommen.

Lokale Differenzen. RAMANN meint, dass auch räumliche Barometerdifferenzen in Betracht kämen, dass sie sogar von grösserem Einfluss sein könnten als die zeitlichen Variationen an einem Ort, die wir vorher behandelt haben. Er schreibt (1911, p. 386): »Die unmittelbare Änderung der Volumen der Bodenluft durch wechselnden Luftdruck ist gering; dagegen werden Unterschiede im Luftdruck in grösseren Gebieten zu einem wesentlichen

¹ Ich bin Herrn Prof. KROGH für gefälligen Hinweis auf diesen interessanten Bericht zu Dank verpflichtet. Er wäre mir sonst wegen der Publikationsstelle sicher entgangen.

Mittel des Gasaustausches in den tieferen Bodenschichten. Man hat schon frühzeitig an Berghängen Höhlen beobachtet, aus denen zeitweise kräftige Luftströme hervortreten; ferner ist das Atmen der Brunnen bekannt, deren Windkessel zeitweise Luft einsaugt oder abgibt. Es sind dies Bewegungen der Bodenluft, die auf Unterschiede in der Höhe des Luftdruckes zurückzuführen sind, und die ein Fließen der Bodenluft von Gebieten hohen nach Gebieten niederen Luftdruckes herbeiführen.»

Was hier als Triebkraft in Frage kommt, ist der sogenannte Luftdruckgradient oder Gradient schlechthin der Meteorologen. Einer der grössten mittleren Gradienten, die auf der Erdoberfläche vorkommen, ist nach HANN (1915, p. 429) der sich in Januar über England einstellende, 8,5 mm Hg auf 821 km, das macht 0,00014 mm Wasser pro m. Der resultierende Gasstrom hängt von der Permeabilität des Bodens ab, über die wir oben Tabelle VII Werte mitteilten. Nehmen wir z. B., um recht wohlwollend zu rechnen, an, dass die Böden von ganz England aus Lehmkrümeln von 0,5 bis 4 mm in lockerer Lagerung bestehen, so bekommt man einen Gasstrom von 0,2 cm pro Stunde, also doch nur 1/100 Normaldurchlüftung. Als einen ganz exzeptionellen Gradienten nennt HANN 6,9 mm Hg auf 32,2 km, welcher Wert einmal während eines heftigen Orkans in England beobachtet wurde; das entspricht 0,003 mm Wasser pro m. Wieder unter der Annahme, dass der Boden aus lauter groben Lehmkrümeln in lockerer Lagerung besteht, kommt man damit zu einem Gasstrom von 4 cm pro Stunde. Für die oberen Schichten kann also kaum je die betreffende Durchlüftung von Bedeutung sein, da man auch mit den extremsten Gradientenwerten und unter Annahme einer Permeabilität von solcher Höhe, dass man auf grösseren Gebieten kaum je damit dürfte rechnen können, nur zu Bruchteilen der alltäglichen Normaldurchlüftung kommt. Es sollte aber die fragliche Durchlüftung nach RAMANN für die tieferen Bodenschichten von Bedeutung sein. Für die tieferen Erdschichten muss man aber mit Permeabilitätswerten für gepackten Boden rechnen und kommt so z. B. unter Annahme eines reinen trockenen Sandes mittlerer Korngrösse (Permeabilitätswert 15, entsprechend dem »Windsor sand«, auch ungefähr dem »Sand IV« und »dune sand« in Tabelle VII) zu einem Luftstrom von 0,002 cm pro Stunde unter dem Einfluss des Januargefälles in England und von 0,045 cm pro Stunde bei dem obenangeführten extremen Gefälle; das macht bzw. 18 cm und 3,9 m pro Jahr. Die oben unter Annahme der hohen Permeabilität 1,400 des Lehmkrümelgemisches und des Januargefälles über England berechnete Geschwindigkeit entspricht 17 m pro Jahr. Nach diesen Zahlen scheint mir ein »Fließen der Bodenluft von Gebieten hohen nach Gebieten niederen Luftdrucks« in nennenswertem Umfang sehr zweifelhaft. Angesichts der enormen Verschiedenheit der Permeabilität verschieden grobkörniger Materialien scheint freilich die Möglichkeit trotzdem nicht ganz ausgeschlossen, dass z. B. einem Äszug von grobem Geröll entlang unter dem Einfluss eines extremen Gradienten ein merklicher Gasstrom zu Zeiten entstehen kann.

Eine Berechnung über den Durchlüftungseffekt der Barometerschwankungen ist, wie schon erwähnt, früher von BUCKINGHAM gemacht worden. Die gefundenen Ziffern vergleicht er mit denjenigen für die Diffusion und findet, dass die Rolle der Barometerschwankungen im Vergleich zu der der Diffusion verschwindend sein muss.

C. Wasser.

Das Wasser im Boden kommt als die Durchlüftung bestimmender Faktor in zweierlei Weise in Betracht, einmal als hemmender, dann aber als Durchlüftung bewirkender Faktor. Von der hemmender Rolle des Wassers wird weiter unten die Rede sein. Hier wollen wir nur die positive Einwirkung betrachten.

Dabei ist teils an Grundwasserbewegungen, teils an den Einfluss eindringenden Regenwassers zu denken.

Grundwasser. Die Grundwasserbewegungen können bei uns im Frühling bei der Schneeschmelze ziemlich rasch und bedeutend sein, verlaufen aber sonst gewöhnlich sehr langsam. Die forstliche Versuchsanstalt Schwedens macht seit Jahren fortlaufend wöchentliche Beobachtungen des Grundwasserstandes in drei Versuchsfeldern, Rokliden (Norrbotten), Kulbäcksliden (Västerbotten) und Lesjöfors (Värmland). Über diese Untersuchungen ist bisher nur wenig publiziert (vgl. HESSELMAN 1909 und 1917 d), Herr Prof. HESSELMAN hat mir aber freundlichst mitgeteilt, dass während der Schneeschmelze die Änderungen bis zu etwa $1\frac{1}{2}$ m pro Woche betragen können, sonst aber das ganze Jahr hindurch viel weniger, maximal einige cm pro Tag (z. B. nach einem starken Gewitterregen in einem Brunnen des Versuchsfeldes Rokliden 8 cm von einem Tag zum anderen, HESSELMAN 1909, p. 36—37).

Nehmen wir an, dass das Fallen des Grundwassers nach der Schneeschmelze ebenso schnell verläuft wie das schnelle Steigen während der Schmelze — in Wirklichkeit verläuft es langsamer — so würde während dieser Periode frische Luft mit einer Schnelligkeit von bis zu 0,9 cm. pro Stunde eingezogen werden, entsprechend $1/20$ Normaldurchlüftung. Während der übrigen Jahreszeiten würde hin und wieder eine Durchlüftung von maximal etwa $1/50$ Normaldurchlüftung vorkommen können. Der Durchschnitt fürs Jahr oder für die Vegetationsperiode würde verschwindend klein werden.

Regen. Um für Schweden einen Maximalwert des Ventilationseffekts eindringenden Regens zu finden, habe ich die Ziffern HAMBERGS (1911) über mittlere grösste Regenmengen in einem Tag während eines Jahres genommen. Die Zahlen liegen für den grössten Teil Schwedens zwischen 30 und 40 mm. Wenn diese Regenmenge an einem Tag auf einer flachen Boden fällt und noch während desselben Tages vollkommen in den Boden eindringt und auf die Tiefe sickert, würde dies möglicherweise (d. h. falls das Grundwasser nicht entsprechend steigt,) eine Erneuerung der Bodenluft in einem Boden mit 10 % Luftgehalt bis zu 30—40 cm binnen 24 Stunden bedeuten, also durchschnittlich für diesen Tag 1,3 bis 1,7 cm pro Stunde. Das ist $1/16$ bis $1/12$ Normaldurchlüftung. Es ist dies in jeder Hinsicht ein Maximalwert.

Gesamtwirkung des Niederschlags. Eine gewisse Vorstellung von dem möglichen durchschnittlichen Ventilationseffekt des gesamten Niederschlags kann man unter der Voraussetzung, dass alles Wasser in den Boden eindringt, einfach an Hand der Jahressummen des Niederschlags gewinnen. Der Boden werde als homogen lufthaltig angesehen, mit einem Luftgehalt L (in Bruchteilen nach Volum). Durch die Gesamtmenge N des Niederschlags wird offenbar pro Jahr eine Bodenluftmenge aus dem Boden ausgetrieben, und in dem Masse als sich das alte normale Grundwasserniveau wiederherstellt, durch atmosphärische Luft ersetzt, die dem gesamten Luftgehalt im Boden bis zur

Tiefe $N:L$ mm entspricht. Gesetzt, der gesamte Jahresniederschlag falle in einer Anzahl n gleichstarken Schauern, die durch trockene Perioden getrennt sind, in denen das normale Grundwasserniveau sich wiederherstellt. Der Boden würde dann dadurch n Male im Jahr bis zur Tiefe $N:L_n$ mm durchlüftet werden.

Der jährliche Niederschlag ist im Durchschnitt für Schweden rund 500 mm. Dieser Niederschlag fällt grösstenteils während Regenperioden von im Durchschnitt 1 Woche Länge, die durch entsprechende Trockenperioden getrennt sind. Die Anzahl Tage, die Regenperioden angehören, ist rund 120, die Gesamtzahl Tage mit mehr als 1 mm Niederschlag im Mittel 104, die Gesamtzahl Tage mit Niederschlag ($> 0,1$ mm) im Mittel 150. (Die Ziffern zitiert nach HAMBERG 1911). Nehmen wir auf Grund dieser Ziffern an, dass der jährliche Niederschlag in 16 gleichstarken Schauern fällt (es wird also angenommen, dass sich der Regen der einzelnen Tage einer Regenwoche zu einem einheitlichen Effekt zusammenaddiert), so würde man 16 Male im Jahr eine Durchlüftung des Bodens bis zur Tiefe $50:16L$ cm bekommen, also z. B. bei einem normalen Luftgehalt von 10 % zu etwa 30 cm, für porösere Böden entsprechend weniger. Bei einem Luftgehalt von rund 16 % würde man eine Durchlüftung 16 Male im Jahr bis zur Tiefe 20 cm zu erwarten haben. Also für die obersten 20 cm etwa jede dritte Woche eine einmalige Durchlüftung, während wir oben als Normaldurchlüftung eine bis zur Tiefe 20 cm in einer Stunde gefordert haben.

Endlich könnte der Regen eine vermehrte Sauerstoffzufuhr im Boden herbeiführen dadurch, dass er Sauerstoff in gelöster Form mit in die Erde bringt. Die Diskussion dieses Effektes werden wir unten in einem anderen Zusammenhang aufnehmen (Kap. 8).

Einen wesentlichen positiven Einfluss von Wasser im Boden auf dessen Durchlüftung haben mehrere Autoren vermutet. So sagt z. B. RAMANN (1911, p. 287): »Kräftige Einwirkungen übt endlich in den Boden eindringendes Wasser. Aus den Räumen, die sich mit Wasser füllen, entweicht die Luft, und beim Absickern des Wassers wird wieder Luft nachgesaugt. Giesst man auf trockenen Boden Wasser, so sieht man reichlich Gasblasen entweichen«. HOWARD & HOWARD (1915 b, p. 6) sehen das Sinken des Grundwasserstandes nach der Monsunzeit in Indien, in den Monaten Oktober bis März oder April, als einen wesentlichen Ventilationsfaktor an. Sie geben nicht an, wie viel oder wie schnell das Wasser in den betreffenden Böden sinkt. Wenn das Grundwasser etwa 10 cm pro Stunde, d. h. 2,4 m pro Tag oder 17 m pro Woche sinkt, kann natürlich etwas Richtiges an dieser Annahme sein.

FLECK (1873) nimmt an, dass die Grundwasserströme im Boden eine Aspirationswirkung auf die Bodenluft ausüben, etwa wie das Wasser in einer Wasserluftpumpe. Falls dies wirklich der Fall ist, dürfte der Effekt jedenfalls verschwindend sein. Der Versuch, den FLECK anstellt, um die Existenz einer solchen Aspiration zu beweisen, besagt nichts.

D. Wind.

Auf jede gegen die Windrichtung geneigte Bodenfläche übt ein darüber hinstreichender Wind Druck- oder Aspirationswirkungen aus. Mit derartigen Druckwirkungen beschäftigt sich die Hydro- oder Aërodynamik, ein Fach, in

dem neuerdings seit dem Aufkommen der Flugtechnik viel gearbeitet worden ist. Es hat sich gezeigt, dass die alte NEWTON-sche Widerstandsformel

$$K = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot V^2 \cdot F \cdot \sin^2 \alpha$$

(K Widerstand, γ Dichte, V Geschwindigkeit, F Fläche, α Neigungswinkel) nicht mit der Erfahrung übereinstimmt; der Widerstand ist eher einfach proportional dem Neigungswinkel als dem Quadrat desselben. Proportionalität des Widerstandes mit dem Quadrat der Geschwindigkeit besteht dagegen annähernd für gewöhnliche Windgeschwindigkeiten. Weiter hat es sich aber gezeigt, dass ein grosser Teil des Luftwiderstandes eine Kantenwirkung ist. Verschiedene Körper von gleichem Querschnitt machen einen verschiedenen Widerstand je nach ihrer Form. So zeigt von scheibenförmigen Körpern gleicher Dicke und Fläche die kreisrunde Scheibe den kleinsten Widerstand, rechteckige Scheiben gleicher Fläche haben einen je grösseren Widerstand, je länger und schmaler sie sind, u. s. w. Eine dünnere Scheibe macht einen grösseren Widerstand als eine dickere, sonst gleiche. Durch zweckentsprechende Formgebung kann man den Widerstand eines Körpers von gegebenem grössten Querschnitt (senkrecht zum Winde) bis zu einem Dreissigstel desjenigen einer dünnen Scheibe von demselben Querschnitt herabdrücken (vgl. GRAMMEL p. 112). Es hängt dies mit Wirbelbildungen hinter den Kanten zusammen. Die nach der Theorie ausgerechneten Widerstandswerte nähern sich der Beobachtung in dem Masse, als man die auftretenden Strömungserscheinungen mathematisch zu fassen imstande ist. Die moderne Theorie laboriert lieber nicht direkt mit dem Druck, sondern mit den Stromgeschwindigkeiten und Stromrichtungen in der Umgebung des Körpers. Es gilt, eine mathematische Beschreibung des »Strombildes« zu geben. Daraus ist dann unter gewissen Voraussetzungen der resultierende Widerstand zu berechnen. Alles dies ist aber noch nicht einmal für die am besten studierten und in der Technik wichtigsten Körperformen, z. B. für die Flügelformen der Flugzeuge, restlos geglückt (vgl. GRAMMEL 1917 p. 112—113).

Es dürfte nach obigem klar sein, dass auch nur eine rohe Schätzung des vom Winde verursachten Durchlüftungseffektes im Boden ausserordentliche Schwierigkeiten bietet. Trotzdem will ich, unter allem Vorbehalt, eine solche Schätzung versuchen.

Ich gehe davon aus, dass die vom Wind getroffenen Terrainformen von allen experimentell auf ihren Luftwiderstand hin untersuchten Körpern am meisten den Rotationskörpern ähneln. Die Resultate der Messungen an solchen Körpern werden gewöhnlich mittels des Koeffizienten k in folgender Formel ausgedrückt:

$$K = k \cdot F \cdot V^2,$$

wo K den Widerstand, F den grössten Querschnitt senkrecht zum Winde, V die Windgeschwindigkeit bedeutet. Die Werte von k sind nun für eine Reihe von Rotationskörpern recht verschiedener Gestalt von auffallend gleicher Grössenordnung. Man hat gefunden (EIFFEL; MARTIENSSEN 1913 p. 90—91): für einen Zylinder (Achse senkrecht gegen den Wind): $k = 0,04$, für eine Kugel (25 cm Diam.) $k = 0,011$ und für einen Kegel mit 20° Spitzwinkel und Basis in Kugelform abgerundet $k = 0,01$ oder $0,006$, je nachdem die Spitze oder das Kugelende gegen den Wind gerichtet war. Hierbei sind als Einheiten

gewählt: K Kilogramm, F Quadratmeter, V Meter pro Sekunde. Die Werte variieren mit verschiedenem Durchmesser der Körper:

Für Zylinder	15	cm	Diam.	$k = 0,04$	(EIFFEL, nach MARTIENSSEN)
»	»	3	»	$k = 0,06$	(» » »)
»	»	1	»	$k = 0,061$	(FÖPPL, » »)
»	»	1	mm	$k = 0,065$	(» » »)
»	»	0,2	»	$k = 0,08$	(» » »)
»	»	0,05	»	$k = 0,11$	(» » »)

Nach dem Gang der Ziffern kann man erwarten, dass k bei grösseren Dimensionen wenigstens nicht grösser wird. Auch wird k für sanftere Konturen (in der Windrichtung langgestreckte) innerhalb gewisser Grenzen kleiner. Dies macht, dass man kaum riskiert, zu niedrig zu rechnen, wenn man die Erhebungen der Bodenoberfläche sämtlich als liegende Halbzylinder bis Halbkugeln auffasst und so die oben zitierten Zahlen $k = 0,04$ bis $0,01$ verwendet.

Die Formel oben stellen wir für unsere Zwecke so um:

$$K/F = k \cdot V^2;$$

Der Quotient K/F , der Widerstand in Kilogrammen dividiert durch die Fläche in m^2 des grössten Querschnittes senkrecht zum Winde, gibt offenbar den mittleren Druckunterschied in Kilogrammen pro Quadratmeter, d. h. in mm Wasser, zwischen Vorder- und Rückseite an. Dieser Druckunterschied möge P heissen, so dass wir endlich schreiben:

$$P = k \cdot V^2 \quad (P \text{ mm Wasser; } V \text{ m/sek; } k = 0,01 \text{ bis } 0,04)$$

Jetzt ergibt sich die Frage: mit welchem V soll man rechnen? Der Winddruck ist ja V^2 , nicht V , proportional, man kann also nicht z. B. die mittlere Windgeschwindigkeit des Jahres verwenden. Wenn aber die Stundensummen der einzelnen Windstärken bekannt sind, kann man daraus einen effektiven mittleren Winddruck des Jahres berechnen. Windfrequenzen sind leider für keine schwedische Station berechnet (nur sind, nach gefälliger Mitteilung des Herrn Staatsmeteorologen C. J. ÖSTMAN, Berechnungen im Gang für einige schwedische Küstenstationen, die Stundensummen der Winde über 12 m und derjenigen über 24 m betreffend). Es findet sich aber eine detailliertere Berechnung für Keitum auf der Insel Sylt (H. MEYER 1890), die wir verwenden können. MEYER hat für 5 Jahre die anemometrischen Bestimmungen für drei Stunden täglich (die den Beobachtungsterminen 8 a., 2 p., 8 p. unmittelbar voraufgehenden Stunden) herausgenommen und in Frequenzklassen von 1 m/sek Spielraum geordnet, so dass man aus seiner Zusammenstellung annähernd die relative Frequenz und somit auch annähernd die Stundensummen pro Jahr einer gegebenen Windstärke berechnen kann. Nennen wir die Klassenwerte v (es sind bezw. $v_1, v_2, \dots, v_{21} = 0,495, 1,495, \dots, 20,495$ m/sek, vgl. MEYER l. c.), die Zahl der Varianten in den betreffenden

Klassen n_1, n_2, \dots, n_{21} . Wir bilden zunächst $\frac{n_1}{\sum n}, \frac{n_2}{\sum n}, \dots,$

$\frac{n_{21}}{\sum n}$, die relativen Frequenzen der 21 unterschiedenen Windstärken. Diese Grössen mögen F_1, F_2, \dots, F_{21} heissen. Dann gibt offenbar die Pro-

duktensumme $F_1 \cdot v_1^2 + F_2 \cdot v_2^2 + \dots + F_{21} \cdot v_{21}^2 = \Sigma (F \cdot v^2)$ das mittlere Quadrat der Windstärke. Dieser Wert, für v^2 in die obige Formel eingesetzt, lässt uns einen mittleren Winddruck für die Windverhältnisse zu Keitum berechnen. $\Sigma (F \cdot v^2)$ aus MEYERS Material wird 41,57. Der Wert weicht sogar ziemlich viel von dem des Quadrates der mittleren Windstärke, $\left[\frac{\Sigma (n \cdot v)}{\Sigma n} \right]^2 = 31,4$, ab, was damit zusammenhängt, dass die Frequenzkurve ausgesprochen schief ist, die Varianten an das 0-Ende gedrängt.

Keitum ist eine Küstenstation mit starken Winden. Um die Bedeutung des Windes als Durchlüftungsfaktor für den überwiegend grossen Teil des Wald- und Ackerlandes Schwedens zu beurteilen, wäre es zweckmässiger, Zahlen für eine Binnenlandstation zu benutzen, z. B. für die mit einem Robinsons Anemometer ausgestattete Station Upsala. Nun fehlen, wie gesagt, Windfrequenzberechnungen für einschlägige Stationen. Wenn aber die Kurve der Windstärkefrequenzen in Keitum und Upsala denselben Gang hätte, also nur alle Klassengrenzen in derselben Proportion geänderte Werte hätten, könnte man an Hand der Werte der mittleren Windstärke die für Keitum gefundene Zahl $\Sigma (F \cdot v^2)$ für Upsala reduzieren. Die mittlere Windstärke in Upsala für 15 Jahre 1906—1920 ist 3,36 m/sec (Mittel aus den in Bull. mensuel mitgeteilten Jahresmitteln). Für Keitum hatten wir 5,60 gefunden. Die Relation ist 0,6. Falls die Frequenzkurve in beiden Fällen denselben Gang hätte, müsste dann dieselbe relative Anzahl Beobachtungen in Keitum oberhalb einer gewissen Windstärke liegen wie in Upsala oberhalb einer 0,6 mal so grossen.

Ein Vergleich kann auf dieser Basis für die höheren, selteneren Windstärken mit wenig Mühe gemacht werden. Ich habe die Grenzen 15 und 20 m/sec für Keitum und die entsprechenden 9 und 12 m/sec für Upsala gewählt. Wenn ich dann entsprechend der Vorgangsweise MEYERS aus dem Upsalaer Bull. mensuel diejenigen Stundenwerte 8a, 2p und 8p aufsuche, die die betreffenden Grenzen erreicht oder überschritten haben, und die Ziffern denjenigen MEYERS für die entsprechend höheren Grenzen gegenüberstelle, so erhalte ich das folgende Ergebnis:

	≥ 9 m/sec	≥ 12 m/sec
Stundenwerte 8a, 2p, 8p 1906—1910 (5 Jahre), Upsala	36	2
» 8a, 2p, 8p 1911—1915 (5 »), »	38	2
» 8a, 2p, 8p 1919—1920 (5 »), »	18	3
	≥ 15 m/sec	≥ 20 m/sec
Stundenwerte 8a, 2p, 8p 1879—80, 1882—85 (5 Jahre), Keitum	42	2

Der Vergleich scheint mir befriedigend. Wenigstens deutet nichts darauf hin, dass die stärkeren Winde in Upsala eine relativ grössere Rolle spielen wie zu Keitum. Unter der Annahme, dass die Frequenzkurven an beiden Orten gleichen Verlauf haben, würde sich dann für das mittlere Quadrat der Windstärke in Upsala $F_1 \cdot (v_1 \cdot 0,6)^2 + F_2 \cdot (v_2 \cdot 0,6)^2 + \dots + F_{21} \cdot (v_{21} \cdot 0,6)^2 = 0,36 \cdot \Sigma (F \cdot v^2)$ ergeben, also 0,36 mal der Wert für Keitum, d. h. rund 15.

Wenn die gefundenen Werte für Keitum bzw. Upsala in unsere obige Formel eingesetzt werden, so ergibt sich ein mittlerer Winddruck P gegen die Erhebungen der Bodenoberfläche von der Grösse:

Für Keitum (Küstenstation)..... $P = 0,4$ bis $1,7$ mm Wasser
 » Upsala (Binnenlandstation)..... $P = 0,15$ » $0,6$ » »

Es würde dies, wie wir uns erinnern, zunächst unter der Annahme gelten, dass die vom Wind getroffenen Erhebungen liegende Halbzylinder bis Halbkugeln darstellen, und unter »Winddruck» P ist der mittlere Druckunterschied zwischen Luv- und Leeseite zu verstehen, also Luvdruck plus Leesaugung.

Bei der Beurteilung dieser Werte ist aber noch zu bemerken, dass die Windstärken, mit denen wir gerechnet haben, nicht diejenigen unmittelbar an der Bodenoberfläche darstellen. Die Zahlen aus Upsala z. B. gelten für 25 m Höhe. Eine Reduktion auf vernünftigeren Werte ist erwünscht, jedoch vielleicht noch unsicherer als die Reduktion der Keitumwerte auf die Windverhältnisse in Upsala. Nach HELLMAN (HANN 1915 p. 830) verhält sich die Windstärke an der Bodenoberfläche zu der in 25 m Höhe wie $1:3,94$. Unter der — unsicheren — Annahme, dass diese Relation für alle Windstärken gilt, würde unser P für eine kleine Erhebung der Upsala Ebene $1:(3,94)^2$ der obigen Ziffern betragen, also $0,01$ bis $0,04$ mm Wasser.

Ist unsere Berechnung bisher approximativ genug gewesen, so wird es aber noch schlimmer werden. Denn jetzt kommen wir zu der Frage: Auf welche Länge sind diese Drucke im Boden verteilt zu denken? Ohne Zweifel in verschiedenen Fällen auf sehr verschiedene. In einem Kartoffelfeld vielleicht auf die Breite des Raines zwischen zwei Furchen, also etwa 30 cm, in einem Weideboden auf einem sanften Hügel vielleicht auf 100 m. Und dann endlich hat man die resultierenden Werte des mittleren Druckgefälles auf die, wie wir schon oben gesehen haben, innerhalb weitester Grenzen schwankenden Permeabilitätswerte des Bodens zu verwenden. Eine generelle Überlegung hilft uns also nicht weiter; wir wollen statt dessen ein paar Beispiele ausrechnen.

Nehmen wir zunächst ein Ackerland mit Furchen und Rainen auf der Upsala Ebene. Wir hätten mit einem P von $0,01$ — $0,04$ zu rechnen, und lassen diesen Druck sich auf $1/3$ m verteilen. Dies macht ein Druckgefälle von $0,03$ bis $0,12$ mm Wasser pro m. Gesetzt, das Ackerland ist gut gearbeitet, der Boden krümelig in lockerer Lagerung. Es ist dann billig, mit dem hohen Permeabilitätswert von 1400 cm/Stunde für 1 mm Wasser/m (vgl. Tabelle VII) zu rechnen, und wir finden einen Luftstrom mit der Geschwindigkeit $0,4$ bis $1,7$ m pro Stunde. Es sind dies Werte, die die oben geforderte »Normaldurchlüftung» weit übertreffen und, wohl zu merken, das wäre der mittlere Effekt des ganzen Jahres, zwar immerhin ein Maximalwert davon, denn es bläst ja nicht immer senkrecht zu den Furchen. Die Möglichkeit einer Durchlüftung von ziemlich normaler Grösse wäre noch bei einem Permeabilitätswert wie für BUCKINGHAMS »Cecil clay» nicht zu bestreiten (man findet mit dem Permeabilitätswert 125 bis zu 15 cm pro Stunde), bei feinkörnigeren und festgelagerten Böden werden jedoch die Werte schnell unbedeutend.

Betrachten wir jetzt einen demnächst günstigen Fall, eine nackte Sanddüne am Meer, wo der Wind nach den Keitum-Angaben blasen soll: $P = 0,4$ bis $1,7$ mm Wasser. Der Druck wird angemessen auf etwa 10 m verteilt gedacht, das macht ein Druckgefälle von $0,04$ bis $0,17$ mm Wasser/m. Der Permeabilitätswert BUCKINGHAMS für »dune sand», locker, ist 66. Das macht $0,04 \cdot 66 = 2,6$ bis $0,17 \cdot 66 = 11$ cm pro Stunde. Der letzte Wert ist noch sehr beträchtlich, auch wenn man ihn mit 2 dividiert, was bei 10 m Mächtigkeit

der Düne und der immerhin relativ geringen Geschwindigkeit billig wäre, falls Aktivität im Boden besteht, denn die frische Luft wird ja jedesmal nur der einen Seite der Düne zugeführt.

Wenden wir uns dann Waldböden zu, und wählen als Beispiel einen kleinen Åszug aus Sand mit sehr schütterem Kiefernwald, dessen herabsetzende Wirkung auf die Windgeschwindigkeit ganz versäumt wird. Ich rechne $P = 0,01$ bis $0,04$ (die Werte für die Bodenoberfläche auf der Upsala Ebene), lasse diesen Druck sich auf 10 m verteilen, und rechne mit dem Permeabilitätswert BUCKINGHAMS für festgelagerten »dune sand«, 12. Das macht $0,001 \cdot 12 = 0,012$ bis $0,004 \cdot 12 = 0,048$ cm pro Stunde. In Anbetracht des niedrigen Wertes, bei zu passierender 10 m Bodenschicht, dividiere ich noch durch 2 und bekomme endlich $0,006$ bis $0,024$ cm pro Stunde. Das ist etwa $1/3000$ bis $1/1000$ »Normaldurchlüftung«.

Noch fraglicher wird natürlich die Möglichkeit einer einigermaßen bedeutenden Durchlüftung durch Wind in unseren festgelagerten Moränenböden, im besonderen natürlich auf flachem Boden und in geschlossenen Beständen. Im dichten Wald weht überhaupt, wie jedermann weiss, nie ein Wind nennenswerter Stärke. Als ziffermässiges Beispiel nenne ich einige Beobachtungen HESSELMANS (1904, p. 361) in den Laubwiesen (einer im allgemeinen sehr lichten Laubholzformation) der Insel Skabbholmen in den Stockholmer Schären:

Offener Platz (Vergleichsstation)	8	4	8	10	7	7
Offenes Feld in der Laubwiese	2	still	1	3	1	1
Zwischen Haselsträuchern (Licht im Bestande 1/27 bis 1/60).....	1	still	fast still	fast still	1	still
Zwischen Wacholdern (Licht 1/5 bis 1/7) ...	fast still	still	still	still	still	still
In sehr schütterem Erlenwald (Licht fast 1)...	fast still	still	still	1	fast still	1
im Eschenhain (Licht 1/10)	still	still	still	still	still	still

Die Lichtwerte habe ich zitiert, um eine Vorstellung von der Geschlossenheit der Bestände zu geben. Die Ziffern der Tabelle bedeuten Windstärken in m/sek.

Zusammenfassend möchte ich über die Rolle des Windes als Durchlüftungsfaktor sagen, dass der Wind auf offenem Land mit hügeligem oder im kleinen bewegtem Terrain unter Voraussetzung grobkörnigen Bodens vielleicht eine beträchtliche Durchlüftung des Bodens zu bewirken imstande ist, dass aber für Waldböden wohl ohne Ausnahme dieser Effekt ein ganz verschwindend kleiner sein muss. Für normale geschlossene Waldbestände wenigstens dürfte man behaupten können, dass der Wind für die Bodenventilation ganz ohne Belang ist.

Mehrere Forscher haben einen Zusammenhang zwischen Wind und den täglichen Schwankungen in der Zusammensetzung der Bodenluft angegeben. So WOLFFHÜGEL (1877), FODOR (1882). FODOR findet bei Zusammenstellung von 111 am Eintrittstage starker Winde angestellten CO_2 -Analysen, dass die CO_2 in 44 Fällen eine Zunahme, in 67 Fällen eine Abnahme gegen den vorigen Wert zeigte. Der Zusammenhang ist zahlenmässig fraglich, denn die aus den Ziffern ausgerechnete Wahrscheinlichkeit einer Abnahme der CO_2 beim Einsetzen von starkem Wind ist $0,60 \pm 0,046$, die Differenz zwischen

diesem Wert und der Wahrscheinlichkeit 0,50, die zu erwarten wäre, falls kein Zusammenhang bestände, also $0,10 \pm 0,046$. (Mittlerer Fehler berechnet nach der Formel bei FISHER p. 108; für freundlichen Hinweis auf diese Art, den Grad der Sicherheit zu prüfen, bin ich fürstlich aktuarie J. ÖSTLIND Dank schuldig). Die Differenz 0,10 ist nicht sicher, da der mittlere Fehler 0,046 beträgt. Zu dieser Betrachtung ist immerhin zu bemerken, dass, falls der CO_2 -Gehalt von vielen unabhängig variablen Faktoren abhängt, der Zusammenhang mit einem dieser Faktoren bei grosser Variation aller notwendig klein ausfallen muss. RUSSELL & APPELEYARD (1915) haben keinen deutlichen Zusammenhang zwischen den Schwankungen in der Zusammensetzung der Bodenluft und dem Wind finden können: »there was nothing at all to indicate that the composition of the air had been affected by the wind A current of air might have been expected to draw out the soil air, but apparently it does not» (p. 34).

FLECK und WOLFFHÜGEL haben die Druckänderungen im Boden durch Wind mittels feiner Manometer zu messen versucht, jedoch »führten ihre Bestimmungen zu keinem Resultate» (FODOR 1882 p. 139). WOLFFHÜGEL (1877) »konnte nur selten einen Ausschlag sehen», wengleich das Manometer 0,01 mm Wassersäule abzulesen gestattet haben soll; FLECK (1873 p. 39) dagegen hat grosse Ausschläge ablesen können (bis zu dem enormen Wert 6 mm Wasser in 2 m Tiefe!) die aber in keinem sichtlichen Zusammenhang mit dem Wind stehen und ganz unbegreiflich erscheinen.

E. Diffusion.

In Gegensatz zu den bisher behandelten Faktoren, die alle mehr oder weniger zufällig, intermittent oder lokal einwirken, ist die Diffusion ein Faktor, der immer und überall wirksam ist, so oft Unterschiede in der Zusammensetzung der Bodenluft und der Atmosphäre vorhanden sind. Dieser Faktor beansprucht daher ganz besonders unser Interesse, weil wir ja oben die Forderung an den oder die hauptsächlich wirksamen Faktoren stellten, im grossen ganzen stetig mit wenig abgeänderter Intensität wirksam zu sein. Andererseits ist aber die Diffusion meistens wegen der Langsamkeit, mit der die Diffusionsprozesse verlaufen, als ein kaum in Betracht kommender angesehen worden (vgl. z. B. RAMANN 1911 p. 386).

Die durch Diffusion in einem Gasgemisch durch die Einheit des Querschnittes in der Zeiteinheit geförderten Massen eines Gases sind, gleiche Temperatur und gleicher Gesamtdruck vorausgesetzt, einfach proportional dem Konzentrationsgefälle, d. h. der Änderung (Abnahme) der Konzentration des betreffenden Gases in der Richtung des Diffusionsstromes. Der Proportionalitätsfaktor, der Diffusionskoeffizient genannt wird, ist eine bei gegebener Temperatur und gegebenem Gesamtdruck für jedes Paar von ineinander diffundierenden Gasen charakteristische Grösse. Sein Wert variiert umgekehrt proportional dem Gesamtdruck und annähernd proportional dem Quadrat der absoluten Temperatur. Nach der kinetischen Gastheorie sollte der Diffusionskoeffizient auch bei gegebener Temperatur, Druck und Gasarten nicht konstant sein, sondern für verschiedene Mischungsverhältnisse der Gase verschiedene Werte annehmen. Diese Veränderlichkeit des Diffusionskoeffizienten ist jedoch »wohl nur gering», da »seine Berechnung, unter der Voraussetzung,

er sei konstant, nicht allzu weit von der Beobachtung abliegende Werte ergibt» (WINKELMANN'S Handbuch I, 2, p. 1429). Es scheint überhaupt noch nicht ausgemacht zu sein, ob die Veränderlichkeit des Diffusionskoeffizienten mit dem Mischungsverhältnis tatsächlich besteht oder nicht: »Experimentell ist diese Frage noch eine offene. Doch scheint eine so starke Veränderlichkeit des Diffusionskoeffizienten, wie sie obige» (aus kinetischen Erwägungen abgeleitete) »Formel gibt, ausgeschlossen«. (BOLTZMANN I p. 97—98). Wir werden im folgenden den Diffusionskoeffizienten bei gegebenem Gesamtdruck und Temperatur als absolute Konstante ansehen, was für unseren Zweck jedenfalls durchaus statthaft ist. Wir werden auch vorläufig die Variation des Diffusionskoeffizienten mit Temperatur und Druck versäumen, diesen Punkt aber später diskutieren.

Die generelle Behandlung der Diffusion bereitet grosse mathematische Schwierigkeiten. Bequem sind nur Fälle zu behandeln, die Dauerzustände darstellen. Ein solcher Fall ist z. B. realisiert, wenn zwei Gasbehälter, deren Inhalt stets irgendwie homogen gemischt bleibt, durch eine Röhre verbunden sind, vorausgesetzt, dass die Gasbehälter so gross sind, dass die Zusammensetzung der Gasmassen in ihnen die ganze Versuchszeit als konstant angesehen werden kann. Die Diffusion in der Röhre verläuft alsdann mit konstanter Geschwindigkeit. Das Gefälle ist zeitlich konstant, und durch jeden Querschnitt der Röhre gehen in der Zeiteinheit die gleichen Mengen. Ist die Röhre zylindrisch, so dass ihr Querschnitt überall der gleiche ist, so ist das Gefälle innerhalb der ganzen Röhre linear und also stets und überall innerhalb der Röhre einfach gleich der Differenz der Konzentrationen (Partialdrucke, oder welche Einheiten man gebrauchen will) an den beiden Enden, dividiert durch die Länge der Röhre.

Bei dem Gasaustausch Boden-Luft durch Diffusion muss sich auch nach Verlauf einiger Zeit ein Dauerzustand einstellen, sofern die Aktivität (die CO_2 -Produktion bzw. der O_2 -Verbrauch) im Boden, die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft an der Oberfläche und endlich Temperatur und Luftdruck konstant bleiben. Alles dies ist freilich stets höchstens nur annähernd der Fall; die Temperatur z. B. schwankt ja auch im Boden fortwährend, wenn auch schon in geringer Tiefe nur innerhalb bedeutend engeren Grenzen als in der Luft, und damit parallel wird in der Regel die Aktivität schwanken. Dennoch glauben wir eine ziemlich gute Vorstellung von der Diffusion im Boden durch Betrachtung von Dauerzuständen gewinnen zu können. Wir werden dies später zu begründen suchen. Das ist jedenfalls der einzig mögliche Grund für eine Auseinandersetzung.

Die Geschwindigkeit der Diffusion, d. h. die Mengen, die in der Zeiteinheit durch die Einheit des Diffusionsquerschnittes gehen, ist, wie oben gesagt, von der Grösse des Gefälles und des Diffusionskoeffizienten abhängig. Unter »Mengen« ist für den Fall des Gasaustausches Boden-Luft nach oben geförderte CO_2 , nach unten geförderter O_2 zu verstehen. Diese Mengen werden also mit der jeweiligen volumprozentischen Zusammensetzung der Bodenluft unter sonst gleichen Verhältnissen variieren. Der Durchlüftungseffekt der Diffusion wäre also bei verschiedenen CO_2 - und O_2 -Gehalten der Bodenluft verschieden? Dieser Meinung scheint RAMANN (1911 p. 387) zu sein, der besonders infolge des geringen Unterschieds in der Zusammensetzung der Bodenluft und der Atmosphäre die Rolle der Diffusion nur gering zu veranschlagen

geneigt ist. Indes bei einem Vergleich der Leistungsfähigkeit der Diffusion mit der der übrigen Faktoren ist zu beachten, dass auch die Mengen von CO_2 und O_2 , die durch diese pro Zeiteinheit gefördert werden, bei verschiedener prozentischer Zusammensetzung der Bodenluft verschieden ausfallen müssen. Wenn z. B. durch Wind die Bodenluft in einer Stunde bis zu 10 cm Tiefe mit frischer Luft ersetzt wird, so hängt die Grösse des effektiven CO_2 - und O_2 -Transportes durchaus von der Zusammensetzung der verdrängten Bodenluft ab. Hatte diese in Extremfall vorher genau die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft, so ist durch die Durchlüftung für den Boden kein Gewinn an O_2 , keine Entlastung von CO_2 bewirkt worden. Die Grösse des effektiven Transports dieser Gase infolge einmaliger Durchlüftung bis zu einer gewissen Tiefe durch irgendeinen der früher behandelten Faktoren entspricht genau dem gesamten CO_2 -Überschuss bzw. O_2 -Defizit der Bodenluft bis zu dieser Tiefe. Um die Leistungsfähigkeit der Diffusion mit derjenigen übriger Faktoren zu vergleichen, haben wir also die geförderten Mengen auf das O_2 -Defizit bzw. den CO_2 -Überschuss bis zu den betrachteten Tiefen zu beziehen. Falls es sich z. B. zeigen würde, dass die Diffusion eine Stunde braucht, um Mengen durch die Oberfläche zu befördern, die dem O_2 -Defizit und dem CO_2 -Überschuss bis zu 10 cm Tiefe entsprechen, so wäre der Ventilationseffekt der Diffusion für die betreffende Erdschicht gleich demjenigen eines Faktors, der in einer Stunde durch Massentransport die Bodenluft bis zur genannten Tiefe einmal erneuert.

Die absoluten 'geförderten Mengen CO_2 und O_2 interessieren uns vorläufig also weniger; wir werden uns aber später damit eingehend zu beschäftigen haben.

Der Kürze halber werden wir folgende Bezeichnungen für häufig wiederkehrende Grössen gebrauchen: Den CO_2 -Überschuss nach Volumen beim Gesamtdruck in Bruchteilen des Gesamtvolums nennen wir p_+ , das O_2 -Defizit entsprechend gemessen p_- . Es ist also stets ungefähr $p_+ = (a - 0,03) : 100$ und $p_- = (21 - b) : 100$, wenn a und b die Gehalte in Volumprozenten an CO_2 bzw. O_2 sind. Falls Normaldruck 760 mm herrscht, bedeuten $a : 100$ und $b : 100$ zugleich Partialdrucke in Atmosphären und p_+ und p_- Partialüberdrucke bzw. -unterdrucke. Wir werden, wie gesagt, vorläufig stets Normaldruck annehmen und so p_+ und p_- auch als Drucke gelten lassen. Den gesamten CO_2 -Überschuss bzw. das gesamte O_2 -Defizit in einem gewissen Volum Bodenluft, z. B. in der Bodenluftmenge, die im Boden unter der Einheitsfläche bis zu einer gewissen Tiefe enthalten ist, werden wir gelegentlich ($\text{CO}_2 +$) bzw. ($\text{O}_2 -$) nennen. (Einheit: Volum beim Gesamtdruck.)

Und jetzt gehen wir an den Vergleich der diffundierenden Mengen mit bis an gegebene Tiefen vorhandenen ($\text{CO}_2 +$) bzw. ($\text{O}_2 -$). Wir wollen dabei die Frage so stellen: Welche Zeit braucht die Diffusion, um Mengen entsprechend dem ($\text{CO}_2 +$) und ($\text{O}_2 -$) bis zu einer gewissen Tiefe durch die Oberfläche passieren zu lassen? Es ist zweckmässig, ein paar verschiedene Fälle gesondert zu betrachten.

Fall I. Eine oberflächliche, selbst inaktive (d. h. weder O_2 -konsumierende noch CO_2 -produzierende) homogene Bodenschicht von der Mächtigkeit l überlagert aktive Schichten. Die Aktivität u. s. w. hat so lange unverändert gedauert, dass der Zustand stationär geworden ist. Wir haben dann inner-

halb der ganzen Schicht die linearen Gefälle $p_- : l$ bzw. $p_+ : l$. Die pro Zeiteinheit durch die Einheit Porenquerschnitt transportierten Mengen betragen dann $k_1 \cdot \frac{p_-}{l}$ bzw. $k_2 \cdot \frac{p_+}{l}$. Das ($O_2 -$) bis zur Tiefe l ist pro Einheit Porenquerschnitt $l \cdot \frac{p_-}{2}$ und der ($CO_2 +$) bis zu derselben Tiefe beträgt $l \cdot \frac{p_+}{2}$. Diese

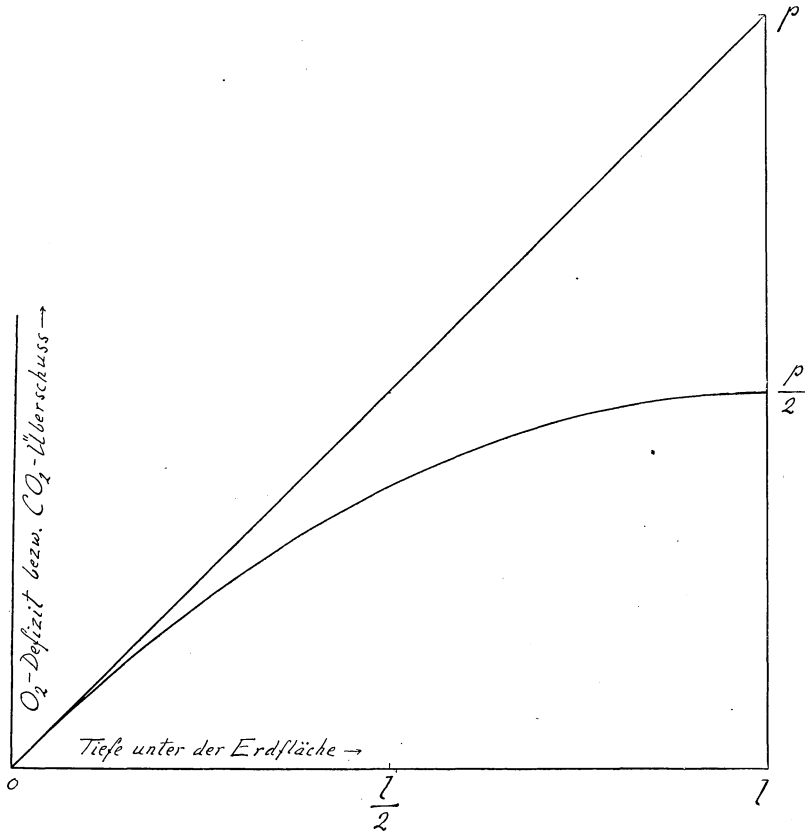


Fig. 2. Gehaltkurve im Dauerzustand, Fall 2, vgl. Text.

Kurvan representerar de värden av kolsyreöverskott eller syrebrist, som böra inställa sig på olika djup i en homogent lufthaltig mark vid likformig aktivitetsfördelning mellan djupen 0 och l och ingen aktivitet djupare än l .

Mengen werden also in den folgenden Zeiten durch den Querschnitt gefördert,

$\frac{l^2 \cdot p_-}{k_1 \cdot p_- \cdot 2}$ bzw. $\frac{l^2 \cdot p_+}{k_2 \cdot p_+ \cdot 2}$, also nach Abkürzen $l^2/2k_1$ bzw. $l^2/2k_2$. Die

Größen p_- und p_+ verschwinden also aus der Rechnung; die Leistungsfähigkeit der Diffusion in Vergleich mit anderen Faktoren oder mit der Normaldurchlüftung hängt nur von der Grösse der Diffusionskoeffizienten k_1 und k_2 und von der Mächtigkeit der betrachteten Bodenschicht ab.

Fall 2. Eine oberflächliche homogene Bodenschicht ist selbst aktiv, und zwar sei die Aktivität ganz gleichmässig verteilt von der Oberfläche bis an die Tiefe l , wo sie aufhört. In allen Tiefen $> l$ werden CO_2 und O_2 weder produziert noch konsumiert. Stationärer Zustand herrscht. Die Gefälle müssen hier von Punkt zu Punkt gegen die Tiefe verschieden sein, denn es sind in verschiedenen Tiefen durch einen Querschnitt verschiedene Mengen zu befördern. In der Tiefe l ist der Transport 0, also auch das Gefälle. Durch die Oberfläche muss alles Produzierte bzw. Konsumierte gehen, dort müssen die Gefälle am grössten sein. Es seien die Gefälle an der Oberfläche (in der Tiefe 0) P_-/l bzw. P_+/l ; P_- und P_+ sind also die Werte, die sich in der Tiefe l einstellen würden, falls die gesamte Aktivität tiefer als l gelegen wäre, und die Schicht von der Oberfläche bis l inaktiv wäre (= Fall 1). Wir haben jetzt die Tangenten der Kurven der p_- und p_+ für zwei Punkte. Zwischen diesen Punkten müssen die Werte der Tangenten der Kurven gleichförmig (linear) von P_-/l bzw. P_+/l in der Tiefe 0 bis 0 in der Tiefe l abnehmen. In der Tiefe $l/2$ z. B. müssen sie den halben Wert von dem an der Oberfläche haben, denn in dieser Tiefe sind durch einen Querschnitt die halben Mengen zu befördern, u. s. w. Durch die Eigenschaft der Tangenten sind die Kurven selbst bestimmt als ein Stück einer Parabel (Fig. 2), deren Achse durch die Punkte $(l, 0)$ und (l, p) geht, deren Scheitel bei $(l, p/2)$ liegt und deren Parameter p ist (Man sieht ohne weiteres ein, dass p in der Figur P_- oder P_+ darstellt; die Überlegung ist ja ganz parallel für beide Grössen). Die vom Parabelstück, seiner Achse und der Abszissenachse eingeschlossene Fläche ist nach einem Gesetz der analytischen Geometrie $2/3$ des Dreiecks von der Fläche $l \cdot p/2$. Nun zum Vergleich der transportierten und vorhandenen Mengen. Durch die Einheit des Porenquerschnittes der Oberfläche geht pro Zeiteinheit $k_1 \cdot P_-/l$ bzw. $k_2 \cdot P_+/l$. Es sind $(\text{O}_2 -)$ und $(\text{CO}_2 +)$ pro Einheit Porenquerschnitt bis zu der Tiefe l dargestellt durch die Flächen je eines Parabelsegments wie in Fig. 2, mit den Höhen $P_-:2$ bzw. $P_+:2$. Das $(\text{O}_2 -)$ wird also nach dem oben über die Fläche eines solchen Parabelsegments gesagten $\frac{2}{3} \cdot \frac{P_- \cdot l}{2} = l \cdot P_-/3$, und der $(\text{CO}_2 +)$ dementsprechend

$l \cdot P_+/3$. Die für Transport dieser Mengen durch die Einheit des Porenquerschnittes an der Oberfläche nötigen Zeiten sind also $l^2/3 k_1$ bzw. $l^2/3 k_2$.

Fall 3. Genereller Fall. In einer homogenen Bodenschicht, die sich von der Oberfläche bis zur Tiefe l erstreckt, herrscht biologische Aktivität, unterhalb dieser Schicht (also in allen Tiefen $> l$) aber keine. Die Aktivität variiert mit der Tiefe x zwischen $x = 0$ und $x = l$ als $\varphi(x) = v$. Stationärer Zustand herrscht. Wir wollen die Kurven der p_- und p_+ als Funktionen von x bestimmen. Für jede dieser Kurven gilt offenbar die Relation für die Tangente:

$$f'(x) = \frac{p}{l} \cdot \frac{\int_0^l v \, dx}{\int_0^x v \, dx},$$

wo p wie vorher die Werte P_- bzw. P_+ darstellt, die sich in der Tiefe l einstellen würden, falls die gesamte Aktivität unterhalb der Tiefe l läge.

Die Funktion selbst kann also durch Integration dieser Gleichung gefunden werden:

$$f(x) = \frac{p}{l} \cdot \int_0^x \left(\frac{\int_0^l v \, dx}{\int_0^l v \, dx} \right) dx$$

Der Quotient p/l stellt offenbar wieder die Gefälle an der Oberfläche dar. Man sieht ohne weiteres ein, dass der Zusammenhang zwischen P_- und p_- ganz der gleiche ist wie derjenige zwischen P_+ und p_+ , so dass beide durch die gleiche Formel wiedergegeben werden können, wie wir es getan haben.

Die in der Zeiteinheit durch die Einheit des Porenquerschnittes an der Oberfläche diffundierenden Mengen sind bezw. $k_1 \cdot \frac{p}{l}$ und $k_2 \cdot \frac{p}{l}$. Das (O_2 —) bzw. den (CO_2 +) pro Einheit Porenquerschnitt bis zur Tiefe x erhalten wir als Funktion $F(x)$ von x durch Integration der Funktion $f(x)$, also:

$$F(x) = \frac{p}{l} \cdot \int_0^x \int_0^x \left(\frac{\int_0^l v \, dx}{\int_0^l v \, dx} \right) dx \, dx.$$

Die Zeit Z , die nötig ist, um die Mengen $F(x)$ durch die Einheit des Porenquerschnittes der Oberfläche zu befördern, ist also:

$$Z = F(x) / k \cdot \frac{p}{l} = \frac{1}{k} \cdot \int \int \left(\frac{\int_0^l v \, dx}{\int_0^l v \, dx} \right) dx \, dx$$

($0 \leq x \leq l$)

wo k k_1 bzw. k_2 bedeutet. Wiederum verschwindet p und es hängt die Durchlüftungsgeschwindigkeit also nur von den Tiefen x und l ab und von den Werten der Diffusionskoeffizienten k_1 bzw. k_2 .

Ausführung der Berechnung für spezielle Fälle. Der Ausdruck, zu dem wir für den generellen Fall kamen, mag für den Nichtmathematiker etwas abschreckend erscheinen. Wir wollen die Sache verständlicher machen durch Ausführung der Berechnung für zwei spezielle gegebene Verteilungen der Aktivität innerhalb der Schicht, und wir wollen uns dabei der im Boden tatsächlich beobachteten Verteilungsart der Bodenorganismen möglichst anschließen.

Viele Untersuchungen haben übereinstimmend ergeben, dass die höchste Zahl der Bakterien und Keime überhaupt gleich unter der Bodenoberfläche zu finden ist, und dass die Zahlen gegen die Tiefe zu schnell abnehmen. Die Resultate der Bakterienzählungen WAKSMANS (1916 a) in 4 verschiedenen Böden (zwei Gartenböden, einer Wiese, einem Waldboden) sind in unserer Fig. 3 dargestellt. Die Diagramme für die verschiedenen Böden sind in unserer Figur durch entsprechende Wahl des Masstabes auf gleiche Höhe ge-

brächt, so dass sie möglichst gut mit einander zu vergleichen sind. Es ist ja nur die Verteilungsart, nicht die absoluten Zahlen, die uns interessiert. Man sieht, dass die Verteilung in den verschiedenen untersuchten Böden sehr nahe dieselbe ist. Auch die Pilze im Boden verteilen sich in ähnlicher Weise (WAKSMAN 1916 b).

Als erste Annäherung an eine solche Verteilung werden wir zuerst ein lineares Fallen der Aktivität von einem gewissen Wert a an der Oberfläche bis zu 0 in der Tiefe l annehmen. In diesem Fall wird die Berechnung sehr einfach.

Die Aktivität ist a in der Tiefe 0, 0 in der Tiefe l und sinkt zwischen diesen Punkten gleichförmig, linear. Also $v = \varphi(x) = a - bx$, wo $b = a/l$, also $v = a - ax/l$; daraus

$$\int_x^l v \, dx = \frac{al}{2} \left(1 - \frac{2x}{l} + \frac{x^2}{l^2} \right) \text{ und } \int_0^l v \, dx = \frac{al}{2}.$$

Der Quotient wird also $\left(1 - \frac{x}{l}\right)^2$. Zu diesem Resultat hätten wir auch ohne Integralrechnung kommen können durch folgende Betrachtung: Der zwischen einer gewissen Tiefe x und der Tiefe l gelegene Teil der Aktivität verhält sich zu der totalen (d. h. zwischen 0 und l gelegenen) wie die Fläche zweier gleichförmiger Triangel mit den sich entsprechenden Katheten ($l-x$) und l , also wie $\left(\frac{l-x}{l}\right)^2$.

Gehen wir jetzt zur Bestimmung der Funktion $f(x)$ über. Wir haben nach obigem $f'(x) = \frac{p}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2$ zu setzen und bekommen daraus durch Integration zwischen 0 und x

$$f(x) = p \left(\frac{x^3}{3l^3} - \frac{x^2}{l^2} + \frac{x}{l} \right)$$

Setzen wir wieder $F'(x) = f(x)$, so erhalten wir durch nochmalige Integration zwischen 0 und x

$$F(x) = pl \left(\frac{x^4}{12l^4} - \frac{x^3}{3l^3} + \frac{x^2}{2l^2} \right)$$

Setzen wir in $f(x)$ bzw. $F(x)$ $x = l$, so wird $f(x) = p/3$ und $F(x) = pl/4$, endlich $Z = l^2/4k$. Die bei gegebener Tiefe l in dieser Tiefe bei gegebener Gesamtaktivität (bezogen auf die Fläche des Porenquerschnittes parallel der Oberfläche) sich einstellenden Werte p_- und p_+ betragen also (vgl. Kurve a der Fig. 6, Kap. 8) bei einer Aktivitätsverteilung wie im ebenberechneten Fall nur $1/3$ von denjenigen bei Fall 1 und $2/3$ von denen in Fall 2; ($O_2 -$) und ($CO_2 +$) bis zur Tiefe l erreichen $1/2$ von denen in Fall 1 und $3/4$ von denen in Fall 2; endlich die Zeiten für Transport durch die Oberfläche von Mengen entsprechend den ($O_2 -$) und ($CO_2 +$) bis zur Tiefe l betragen dementsprechend bzw. $1/2$ und $3/4$ von denjenigen in bzw. Fall 1 und 2.

Wenn man die gefundenen Gleichungen zur Berechnung der Verhältnisse für andere Tiefen als l verwenden will, so empfiehlt es sich, nach Festsetzung von l , x in l zu rechnen, wodurch die Gleichungen sichtlich sehr einfach

werden. Wenn man z. B. WAKSMANS Bakterienzahlenkurven mit einer Geraden ausgleichen will, so würde diese die Abszissenachse etwa bei $16'' = 40$ cm treffen. Also $l = 40$ cm. Wir nehmen also 40 cm als Einheit der Länge für x . Wir fragen z. B. nach der Zeit, die zum Befördern durch die Oberfläche von Mengen entsprechend dem ($O_2 -$) und dem ($CO_2 +$) bis zu 20 cm Tiefe nötig ist. Wir finden, für $x = l/2$ und $l = 40$, $Z = 142 : k$ (Sekunden, falls k in den gewöhnlichen Einheiten ausgedrückt ist).

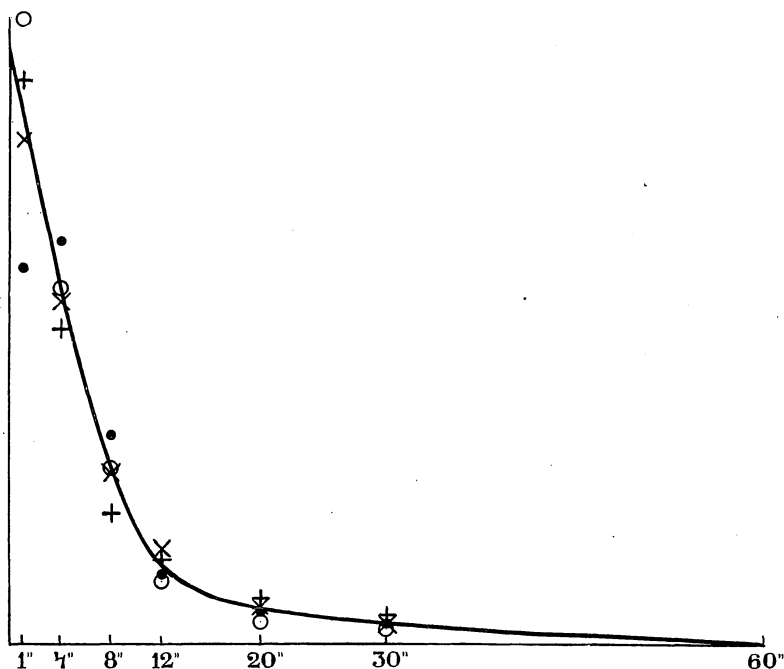


Fig. 3. Bakteriengehaltkurve nach WAKSMANS (1916 a) Zählungen. Die Kreise und Kreuze stellen die Zahlen WAKSMANS dar. Gefüllte kleine Kreise und liegende Kreuze = Gartenböden, ungefüllte Kreise = Timotheewiese, stehende Kreuze = Waldboden. Die Kurve ist eine Ausgleichung nach Augenmass dieser Punkte.

Kurvan representerar bakteriehalten i marken på olika djup efter WAKSMANS bakterieräkningar. Kurvan utgör en utjämning efter ögonmätt av originalvärdena, som äro framställda genom korsen och cirkelnarna. Små fyllda cirklar och liggande kors = två olika trädgårdsjor, ofyllda cirklar = timotejvall, stående kors = skogsmark.

Um einmal eine Berechnung durchzuführen, die sich so nahe wie möglich an in der Natur beobachtete Verhältnisse anschliesst, habe ich die Werte WAKSMANS nach Augenmass mit einer Mittelkurve ausgeglichen, die in der Fig. 3 eingezeichnet ist (die grobe Linie). Diese Kurve stellt also $v = \varphi(x)$ dar, nach den obigen Bezeichnungen. Die Integrationen habe ich graphisch ausgeführt (vgl. v. SANDEN, Praktische Analysis p. 95 ff.). Die resultierende Kurve für $f(x)$ ist in Fig. 4 gezeichnet. Fig. 5 S. [67] bringt die Kurve $F(x)$ bis 1 m

Tiefe nebst einer Hilfstafel, die es gestattet, für jede Tiefe und jeden Wert von k zwischen $0,02$ und $0,10$ cm²/sek. den Wert von Z direkt in Stunden abzulesen. Man hat die Ordinate über der betreffenden Tiefe aufwärts bis an die Kurve zu verfolgen und dann vom Schnittpunkt horizontal nach links zu gehen und findet dann durch den Schnittpunkt dieser Horizontalen mit der Vertikalen für ein gegebenes k das entsprechende Z , oder durch den Schnittpunkt der Horizontalen mit der geneigten Linie, die einem gegebenen Z entspricht, das nötige k . Für $x = 20$ cm und $k = 0,05$ z. B. findet man $Z = 0,8$ Stunden, für $x = 40$ cm und $k = 0,05$ $Z = 2,4$ Stunden.

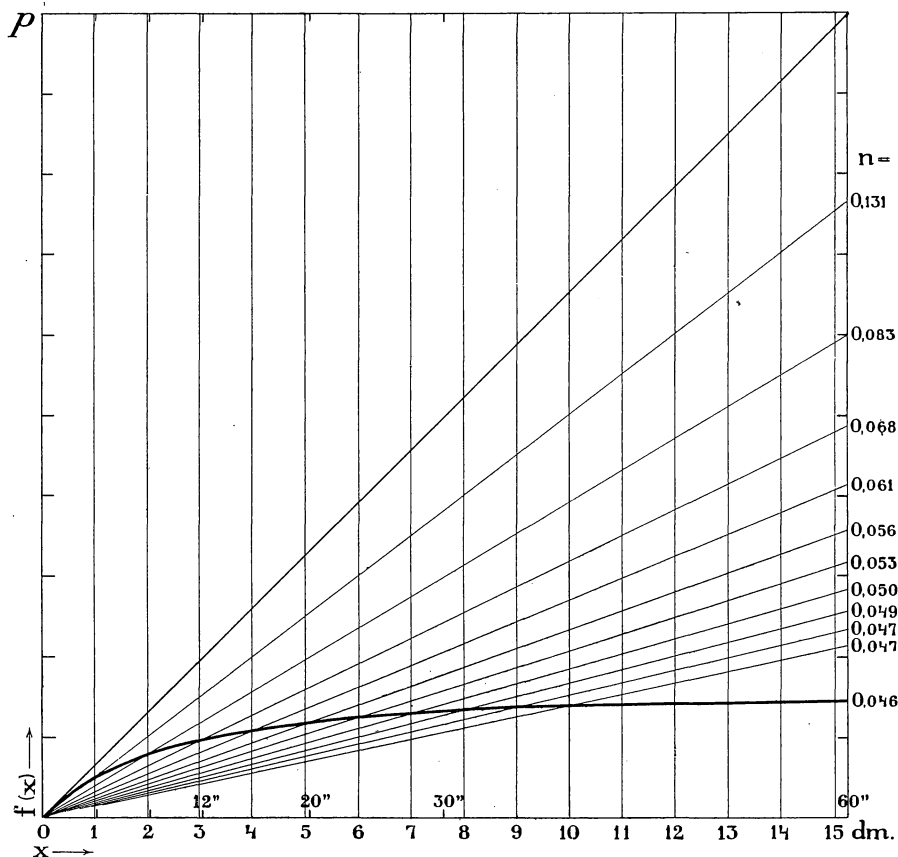


Fig. 4. Gehaltkurve im Dauerzustand bei einer Aktivitätsverteilung wie nach der Kurve Fig. 3. Erklärung der Ziffern im Text.

Kurvan representerar de värden av kolsyreöverskott eller syrebrist som böra inställa sig på olika djup i en homogent lufthaltig mark, om aktivitetsfördelningen motsvarar bakteriehaltkurvan fig. 3.

Wir sind also zu dem Ergebnis gekommen, dass der Durchlüftungseffekt der Diffusion im Dauerzustand, mit dem anderer Faktoren oder mit der Normaldurchlüftung verglichen, unabhängig von den jeweilig sich einstellenden p_- und p_+ ist. Dagegen ist seine Grösse stark von der Mächtigkeit der

betrachteten Schicht abhängig und von der Verteilungsart der Aktivität im Boden. Endlich kommt der Diffusionskoeffizient mit in die Rechnung, was ja selbstverständlich ist. Um zu einer Zahl zu kommen, die die Effektivität der Diffusion angibt, muss man folglich wissen, mit welchen Werten der Diffusionskoeffizienten man im Boden rechnen darf.

Diffusionskoeffizient. Bei freier Gasdiffusion beträgt der Wert des Diffusionskoeffizienten nach den Bestimmungen der Physiker (LANDOLT-BÖRNSTEINS Tabellen 1912) bei 0°C , 760 mm Hg für CO_2 — Luft 0,14, für CO_2 — O_2 0,18. Falls der Gasaustausch im Boden durch Diffusion geschieht, wird man weder eine einfache Diffusion O_2 — CO_2 noch eine CO_2 — Luft haben, sondern eine Diffusion CO_2 — O_2 durch N_2 hindurch. Die Diffusion zweier Gase durch ein drittes ist von STEFAN theoretisch behandelt worden. Er findet, dass der Diffusionskoeffizient sich vergrössern muss, wenn das spezifische Gewicht des dritten Gases unterhalb denjenigen der beiden ersten Gase liegt, und umgekehrt. Wenn die beiden ersten Gasen verschiedenes sp. Gewicht haben, wird das dritte Gas nicht gleichförmig verteilt bleiben, sondern sich an der Seite des leichteren Gases ansammeln. Die Versuche stimmen ziemlich gut mit der Erwartung überein. (WINKELMANN p. 1423.) BUCKINGHAM hat nach STEFANS Formeln die zu erwartenden Diffusionskoeffizienten berechnet für CO_2 und O_2 diffundierend durch N_2 , wenn das letzte Gas 79 % des Gesamtvolums ausmacht. Er findet, dass der Diffusionskoeffizient für CO_2 um 5,3 %, für O_2 um 19 % gegen den früheren gemeinsamen Wert vergrössert sein wird. Da es sich für uns nicht um peinlich genaue Berechnungen handelt — solche sind aus allerlei Gründen ausgeschlossen — werden wir die beiden Konstanten als gleich ansehen, also weiterhin $k_1 = k_2 = k$ setzen. So tut auch BUCKINGHAM; er nimmt das Mittel 12 % aus den eben genannten Ziffern und rechnet mit einem einheitlichen um 12 % erhöhten Diffusionskoeffizienten.

Der Vorgang der Diffusion verläuft nicht mehr normal bei sehr kleinen Dimensionen der Diffusionsräume, d. h. von der Grössenordnung der freien Weglänge der Gasmoleküle. Die freie Weglänge der Gasmolekülen ist bei gewöhnlichem Druck sehr klein: für CO_2 0,06 mm, für O_2 0,1 mm, für N_2 0,09 mm (1 mm = 1/1000 mm). Bei Einzelkornstruktur und dichter Lagerung kann die Grössenordnung der Dimensionen der Hohlräume im Boden wohl ungefähr gleich derjenigen der Bodenpartikel gesetzt werden. Nun erreichen zwar von sämtlichen Konstituenten des Bodens nur die aller kleinsten diese Grenze (die Tonfraktion, das feinste Sortiment ATTERBERGS: ler; < 2 mm), das genügt aber, um zu verbieten, die für die freie Diffusion gefundenen Werte des k ohne Prüfung auf den Gasaustausch des Bodens zu verwenden.

Zwei experimentelle Untersuchungen über die Diffusion im Boden liegen vor. Beide haben ihre Mängel. HANNÉN (1892) hat meist nicht mit natürlicher Erde gearbeitet, sondern mit gesiebten Sortimenten, dafür sind aber ihre Korngrössen umso genauer definiert und bekannt. HANNÉNS Versuche würden daher einen guten Aufschluss über den Gang des Diffusionskoeffizienten bei abnehmender Korngrösse geben — wenn nur ihre Berechnung möglich wäre. Dies scheint jedoch leider nach den Angaben kaum möglich. HANNÉN hat nicht mit Dauerzuständen gearbeitet, er sperrt eine gewisse Menge reines Kohlendioxyd in einem Glasbehälter durch einen anfangs gleichfalls mit

reinem CO_2 gefüllten Bodenzylinder von der Atmosphäre ab und bestimmt nach der Versuchszeit das im Behälter zurückgebliebene CO_2 . Diese Menge betrug bis zu 18 % der Anfangsmenge hinab (im allgemeinen etwa 50 %). Das Gefälle ist also während des ganzen Versuchs innerhalb weiter Grenzen wechselnd und für die uns interessierende untere Endfläche der Bodensäule nicht berechenbar, u. A. weil die Diffusion im Gasbehälter selbst meistens von ungefähr derselben Grössenordnung wie die in der Bodensäule gewesen sein muss, und dabei über die Form dieses Gefässes für einen der verwandten Apparate gar keine Angabe gemacht wird (für den zweiten nur in Form einer photographischen Totalansicht des Apparats). Der Physiker, Herr Privatdozent E. HOLM, mit dem ich mich beraten habe, hat keine Möglichkeit gesehen, die Werte HANNÉNS anders als qualitativ zu verwenden.

Einiges kann jedenfalls aus den Zahlen HANNÉNS herausgelesen werden. Wenn man Versuche auswählt, in denen bei gleicher Länge der Bodensäule in gleicher Zeit sehr nahe die gleichen Mengen diffundiert haben, so muss in diesen Versuchen während der ganzen Versuchszeit das Gefälle in sehr nahe der gleichen Weise variiert haben, also zu jeder Zeit in den parallelen Versuchen nahe dasselbe gewesen sein. Ich habe einige solche Versuche zusammengestellt:

Sortiment	Sand I	Sand VI	Lehm I	Lehm V
CO_2 diffundiert, % der Anfangsmenge	44,31	44,31	57,53	58,02
CO_2 diffundiert, cm^3 pro cm^2 Porenquerschnitt ...	103,5	123,9	101,6	96,3

Die Anfangsmenge CO_2 , die Höhen der Bodenschicht und die Versuchszeiten waren dabei die gleichen. Sand I = Quarzsand 0,01—0,071 mm, Sand VI = Quarzsand 0,5—1,0 mm; Lehm I = Lehm in Einzelkornstruktur < 0,25 mm, Lehm V = Krümel 4,0—6,75 mm.

Wie man sieht, können die Werte für Sortimente sehr verschiedener Korngrösse ganz übereinstimmend sein, in scharfem Gegensatz zu den Verhältnissen beim Hindurchpressen von Luft durch Druck (vgl. die Tabelle VII p. [36]). Mehr ist aber leider kaum aus den Daten herauszulesen.

Die zweite Untersuchung über die Diffusion im Boden stammt aus dem amerikanischen Bureau of Soils (BUCKINGHAM 1904). Dieser Forscher arbeitet mit Dauerzuständen, indem die Bodensäule sich zwischen zwei Behältern befand, in welchen kontinuierliche Ströme aus CO_2 bzw. Luft unterhalten wurden. Ein System von Regulatoren sorgte dafür, dass die Gesamtdrucke zu beiden Seiten möglichst genau dieselben blieben. Es wurde die sich einstellende Zusammensetzung der beiden Gasströme volumetrisch ermittelt, woraus bei Kenntnis der Stromgeschwindigkeit die pro Zeiteinheit diffundierenden Mengen sich berechnen liessen. BUCKINGHAM hat mit natürlichen Böden, nicht mit gesiebten Sortimenten, gearbeitet, aber dann leider nicht mit Böden in natürlicher Lagerung. Die Proben wurden im Gegenteil vor dem Versuch »broken up fine in a mill«, und dann eventuell mit dem gewünschten Wasserzusatz gründlich vermischt. Erst dann kamen sie in den Apparat. Man vermisst also in diesen Versuchen die Kenntnis der Korngrößen, ohne den Vorteil zu gewinnen, die Verhältnisse in vollkommen natürlichen Böden

direkt zu studieren. Der Verfasser drückt seine Resultate aus als Werte einer Konstante D , die das Volum (Atm.-Druck, Zimmertemperatur) in cm^3 angibt, das pro Sekunde durch 1 cm^2 Bodenquerschnitt diffundiert, wenn das Partialdruckgefälle 1 mm Hg pro cm beträgt. Um einen Vergleich mit dem normalen Diffusionskoeffizienten zu erleichtern, habe ich die Zahlen auf 1 cm^2 Porenquerschnitt und ein Gefälle von 1 Atm. pro cm umgerechnet, durch Division durch die vom Verfasser mitgeteilten Porositätswerte und Multiplikation mit 760 .

Tabelle VIII. Diffusionskoeffizienten k für CO_2 —Luft aus BUCKINGHAMS Versuchen berechnet. Versuchstemperatur c:a 27°C , Druck nahe 760 mm Hg .

Sortiment	Luft- gehalt %	k	($D:S^2$)	Sortiment	Luft- gehalt %	k	($D:S^2$)
Dune sand, 4,8 % aq	56	0,11	(2,6)	Cecil clay, 19,6 % aq.....	25	0,05; 0,06	(2,9)
D:o	46	0,07; 0,08	(2,2)	D:o, 21,1 % aq »somewhat lumpy»	46	0,06; 0,07; 0,08	(1,8)
Garden loam trocken	49	0,07; 0,08	(2,0)	D:o	35	0,04	(1,6)
D:o	43	0,06; 0,07	(2,0)	D:o, bewässert.....	25	0,02; 0,03	(1,0)
D:o, bewässert	31	0,06	(2,6)	Cecil clay, trocken »coarse grounds»	61	0,06; 0,07	(1,4)
Garden loam, 18,6 % aq	49	0,08; 0,10	(2,2)	D:o	52	0,04; 0,05	(0,8)
D:o	40	0,08	(2,5)	D:o	47	0,04; 0,05	(1,2)
D:o	32	0,06	(2,6)	Windsor sand, 4,2 % aq	55	0,09; 0,10	(2,5)
Cecil clay, 19,6 % aq	48	0,07	(2,0)	D:o	33	0,07; 0,09	(3,0)
D:o	35	0,04; 0,07	(1,9)	D:o, bewässert.....	16	0,02	(1,9)

Der normale Diffusionskoeffizient CO_2 —Luft bei 27°C und 760 mm Hg beträgt $0,17$. Die gefundenen Werte variieren zwischen $0,11$ und $0,02$. Die beiden niedrigsten Werte beziehen sich auf besondere Verhältnisse, wo der Boden von oben bewässert worden war; wir wollen sie später diskutieren. Die übrigen Werte halten sich um $0,05$ bis $0,08$, also etwa ein Drittel bis die Hälfte des zu erwartenden Wertes. Die Zahlen variieren wenig mit verschiedenen Bodenarten, viel mehr mit verschiedenem Packungsgrad der Proben. Es bestätigt sich also das Resultat aus HANNÉNS Versuchen, dass die grössere oder kleinere Feinkörnigkeit des Bodenmaterials innerhalb der Grenzen, bis zu denen sich die Untersuchungen erstrecken, von verschwindend kleinem Einfluss auf die Diffusionsgeschwindigkeit ist. Andererseits zeigt sich durchweg eine ausgesprochene Abnahme der pro Einheit Porenquerschnitt diffundierten Mengen bei Packung der Erde. (Der jeweilige Packungsgrad einer Bodenprobe geht aus den in der Tabelle VIII mitgeteilten Porositäts-

ziffern hervor). Das steht einigermaßen in Widerspruch zu den Erfahrungen HANNÉNS; aus den Tabellen HANNÉNS p. 10 und 12 (Versuch I und II) kann man herauslesen, dass ausser für das feinste Sortiment ($0,01-0,071$ mm Korngrösse), wo trotz grösseren Gefälles bei der dichteren Lagerung pro Einheit Porenquerschnitt weniger diffundierte, die Packung auf den Diffusionskoeffizienten gar nicht, wenigstens nicht wesentlich, eingewirkt hat. (Jedoch andererseits zeigen auch HANNÉNS Versuche für die Materialien Kaolin und pulverförmigen Lehm eine sichere Abnahme des Diffusionskoeffizienten bei Packung, vgl. unten). Nach den mit verschiedener Feinheit der Poren sehr empfindlich variierenden Permeabilitätswerten kann man (vgl. oben Tabelle VII) feststellen, dass in BUCKINGHAMS Versuchen auch in solchen Materialien sich eine ausgesprochene Abnahme des Diffusionskoeffizienten bei Packung zeigt, in denen die Porenweite nicht kleiner ist als in den mittleren Quarzsandsortimenten HANNÉNS, wo sich noch keine solche Abnahme zeigte. Die Erklärung dieses Mangels an Übereinstimmung glaube ich in der bei den zwei Forschern verschiedenen Art der Packung suchen zu dürfen. Darüber weiter unten.

BUCKINGHAM glaubt eine Beziehung der Diffusionswerte zu der Porosität S des Bodens gefunden zu haben, derart, dass $D:S^2$ stets annähernd konstant wäre. Wenn die Diffusion pro Einheit Porenquerschnitt konstant wäre, hätte man natürlich $D:S$ konstant zu erwarten. Wenn statt dessen $D:S^2$ konstant ist, so bedeutet dies $k:S = \text{konst. d. h.,}$ dass der Diffusionskoeffizient proportional der Porosität variiert. Die Grössen $D:S^2$ sind in der dritten Kolonne unserer Tabelle VIII zitiert, BUCKINGHAMS Tafel II entnommen, nur zwecks besserer Übersicht auf eine Dezimalstelle abgerundet. BUCKINGHAM hat diese Werte nach »weighted means» von D gebildet, während die von mir gegebenen k -Werte die Einzeldaten darstellen (zwar ein k -Wert oft mehrere Einzeldaten, aber nur wenn diese auf dieselbe Ziffer abgerundet werden konnten). Trotzdem kann ich nicht sehen, dass diese beträchtlich mehr variieren als jene. Wenn man von den schon genannten, aus der Reihe ausfallenden Versuchen mit Bewässerung von oben absieht, zeigen die $D:S^2$ -Werte eine grössere Variation als die k -Werte (mit einer Dezimale mehr sind die Zahlen $2,99/0,83$ bzw. $0,112/0,040$).

Ich erkläre mir den Umstand, dass die k -Werte kleiner als erwartet ausfallen, weiter den obenerwähnten Mangel an Übereinstimmung zwischen BUCKINGHAM und HANNÉN, sowie die von BUCKINGHAM gefundene Annäherung an eine Proportionalität der k -Werte mit der Porosität, folgendermassen: Zunächst sind die Poren der Bodenprobe ja nicht Kanäle, die geradlinig von der einen zur anderen Endfläche verlaufen. Im Gegenteil, der Diffusionsstrom muss überall Umwege aus der geradlinigen Hauptrichtung machen, so dass der wirkliche Weg länger ist als die Höhe der Bodensäule. Mit anderen Worten, der Partialdruckunterschied zwischen den Endflächen verteilt sich auf eine grössere Länge, das Partialdruckgefälle wird in Wirklichkeit kleiner als berechnet. Wenn der Diffusionsstrom sich nirgends in der Bodenmasse geradlinig bewegen kann, sondern immer nur in Umwegen um die Bodenpartikel, jedoch mit beibehaltener Hauptrichtung, so wird die Wegverlängerung unter der Annahme, dass die Umwege stets Halbkreise darstellen, $\pi/2$, der Weg also 1,6 mal vergrössert. Der zu erwartende scheinbare Diffusionskoeffizient wäre also $2/\pi = 0,64$ von dem normalen, also in BUCKINGHAMS Versuchen $0,11$, was in der Tat mit den grössten Werten der Tabelle

VIII gut übereinstimmt. Weiter aber wird der Diffusionsstrom dadurch aufgehalten werden, dass die Diffusionsräume in der Bodenmasse ja nicht überall annähernd dieselbe Grösse haben, sondern sehr enge Passagen mit weiteren, besser wegsamen umwechseln. Der experimentell in Erde gefundene Diffusionskoeffizient ist aus diesen beiden Gründen eigentlich ein scheinbarer Diffusionskoeffizient. Dass der Wert davon bei Packung der Erde abnimmt, kann teils auf einer Vergrösserung der zu passierenden Weglänge, teils und wohl hauptsächlich auf dem mehr oder weniger vollständigen Abschiessen und Unnützbarmachen einer Anzahl Hohlräume beruhen. Das letztere wird in grösserem Umfang in feinkörnigem Boden stattfinden als in grobkörnigem, weil in jenem die engsten Passagen leichter und öfter unter eine kritische Minimalgrösse müssen herabgedrückt werden können. Dass aber BUCKINGHAM, in Gegensatz zu HANNÉN, schon bei grobkörnigeren Böden eine deutliche Abnahme des scheinbaren Diffusionskoeffizienten gefunden, und durchgehend eine Abnahme des k mit der Porosität beobachtet hat, dürfte auf einem besonderen Umstand beruhen. HANNÉN hat nämlich möglichst homogen gepackte (»Einstampfen der einzelnen Schichten von 1 cm Mächtigkeit mit Hilfe eines Stempels von entsprechendem Querschnitt«, p. 15) Bodenproben untersucht, bei BUCKINGHAM dagegen wurde die Packung so vorgenommen, dass die Bodenprobe als Ganzes mittels eines Holzklotzes bis auf den gewünschten Grad zusammengedrückt wurde (»after a set of experiments had been made in this way the top of the soil case was taken off and the soil compressed, tamped, or watered, as the case might be, after which the new depth to the soil was measured as before, the cover put on, and a new set of experiments begun«, p. 14). Die Probe muss daher in den Versuchen mit fester Lagerung nicht homogen gewesen sein, die oberste Schicht muss einen wahrscheinlich viel geringeren Gesamtporenquerschnitt gehabt haben als die unteren und als die berechnete, und dies muss in je höherem Grad der Fall gewesen sein, je stärker der Boden in dieser Weise zusammengedrückt worden war. Der mit Anwendung der für die gesamte Bodenprobe ausgerechneten Porosität berechnete Wert für k wird daher zu niedrig ausfallen und dies um so mehr, je stärker die Probe komprimiert wurde. Da nun andererseits die Porosität der Proben der verschieden Bodenarten in BUCKINGHAMS Versuchen nicht sehr verschieden war, ist eine Annäherung an eine Proportionalität des k mit der Porosität im gesamten Material verständlich. Es wäre viel aufklärender gewesen, wenn die Versuche an homogen gepackten Proben gemacht worden wären. Die Verhältnisse in schichtenweise verschieden stark zusammengedrückten Böden, wie solche ja in der Natur öfters vorkommen, wären ohnehin leicht zu überschauen gewesen, wie wir unten sehen werden. In derselben Weise wie für die gepackten Bodenproben erklären sich sicher zum grossen Teil die abnorm niedrigen k -Werte in BUCKINGHAMS Versuchen bei Bewässerung von oben. Im Extrem kann man sich ja denken, dass alles Wasser in einer oberflächlichen Schicht blieb und dort die Poren vollständig verstopfte, während aus dem Gesamtwassergehalt der Probe eine ziemlich grosse Porosität berechnet wurde.

Auch eine gleichmässige Packung wirkt indes, wie gesagt, bei feinkörnigen Bodenarten herabdrückend auf den scheinbaren Diffusionskoeffizienten, ebenso wie eine gleichmässige Nässe des Bodens über eine gewisse Grenze hinaus. Für Beides kann man Belege in HANNÉNS Versuchen finden. Ich zitiere aus HANNÉN (p. 15—16):

Sortiment	Lagerung	CO ₂ diffundiert, % der Anfangsmenge	CO ₂ diffundiert, cm ³ pro 1 cm ² Porenquerschnitt
Kaolin	locker.....	60	72
D:o	mitteldicht	48	68
D:o	dicht	35	58
Lehmpulver	locker.....	51	74
D:o	mitteldicht	43	74
D:o	dicht	30	65

Die Anfangsmengen, Versuchszeiten und Höhen der Bodensäulen waren dabei überall die gleichen. Es haben also in den gepackten Proben trotz höheren Gefälles kleinere Mengen diffundiert.

Den Einfluss von Wasser im Boden, sowie die relativ viel stärkere Wirkung einer Bewässerung von oben als einer gleichmässigen Befeuchtung, zeigen die folgenden Ziffern von HANNÉN (p. 19, 20, 23):

Sortiment		Sand I (0,01—0,071 mm)						Sand I—VII (0,01—2,0 mm)					
Zugesetzte Wassermenge	cm ³	0	22	40	79	119	158	0	22	25	50	75	100
	in % der grössten Wasserkapazität	0	—	20	40	60	80	0	—	20	40	60	80
	als mm Niederschlag.....	—	10	—	—	—	—	—	10	—	—	—	—
CO ₂ diffundiert in % der Anfangsmenge		52	19	42	30	14	3	37	6	33	22	13	0
D:o pro cm ² Bodenquerschnitt.....		60	22	48	34	15	3	43	7	38	25	15	0
D:o pro cm ² Porenquerschnitt		109	—	104	92	54	18	114	—	118	97	72	0,3

Auch hier waren die Anfangsmengen CO₂, Versuchszeiten und Höhen der Bodensäulen überall die gleichen. Trotz eines sehr viel grösseren Gefälles haben also in den nassen Böden viel geringere Mengen, bis praktisch nichts, diffundiert. Der derart stark herabsetzende Einfluss des Wassers könnte befremdend erscheinen, da ja auch durch das Wasser hindurch Diffusion erfolgen muss. Die Werte der Diffusionskoeffizienten der in Wasser gelösten Gase sind aber nur von der Grössenordnung $1/10000$ derjenigen bei der Diffusion in Gasform (in Wasser von 16° C für CO₂ $k = 0,000016$, für N₂ $k = 0,00002$, für O₂ $k = 0,000019$; alles in cm²/sek nach HÜFNER aus WINKELMANN'S Handbuch p. 1450.)

In dicht gelagerten und gleichzeitig feinkörnigen Böden ist also die Diffusion merklich verlangsamt und in nasse Böden bedeutend, bis praktisch Null, herabgesetzt. Wenn man von nassen Böden absieht, sind aber für die ver-

schiedenen untersuchten Bodenarten die Werte des scheinbaren Diffusionskoeffizienten von bemerkenswerter Konstanz. Man vergleiche nur die Variation der k -Werte in Tab. VIII mit der Variation der Permeabilitätswerte in Tabelle VII oben für ganz dieselben Bodenproben. Weder die Untersuchungen HANNÉNS noch die von BUCKINGHAM erstrecken sich aber auf die am meisten feinkörnigen Böden in dichtester Lagerung, wie plastischen Ton. Es ist von vornherein zu erwarten, dass doch in solchen Böden die Diffusionsgeschwindigkeit bedeutend herabgesetzt ist. In dieser Hinsicht ist ein Versuch von FLECK (1873 p. 44) beleuchtend. Er untersuchte die Diffusion von CO_2 durch einen aus »völlig sandfreiem, feuchtem und fettem Lehm« geformten und dann vorsichtig an der Luft und dann bei 80° getrockneten Zylinder und fand, dass bei einem Gefälle von $0,074$ Atm. pro cm in 18 Stunden durch einen Bodenquerschnitt von $2,27 \text{ cm}^2$ $2,5 \text{ mg CO}_2$ diffundiert hatte. Dies gibt, unter Annahme einer Porosität des Lehmzylinders von 25% , ein k von $0,00044$ (unter Annahme einer grösseren Porosität natürlich noch weniger), also von der Grössenordnung $1/100$ der mittleren in BUCKINGHAMS Versuchen.

In an Tonmaterial reichen Böden wird also die Diffusion unter Umständen sehr verlangsamt sein. In der Natur wird die Diffusion durch eine kompakte rissfreie Lehmschicht noch viel mehr, als die eben angeführte Ziffer zeigt, verlangsamt sein, denn sie enthält dazu Wasser. Das starke wasserhaltende Vermögen des Feinmaterials wird in der Natur dazu beitragen, die Diffusion durch solche Böden herabzusetzen.

Nasse Böden und kompakte, extrem feinkörnige Böden fallen also aus dem Rahmen. Sonst aber kann man nach allem zu urteilen innerhalb weitester Grenzen im Boden mit einem relativ ziemlich konstanten Wert des scheinbaren Diffusionskoeffizienten rechnen, und zwar mit einem von $1/2$ bis $1/8$ des normalen für freie Diffusion. Der normale Diffusionskoeffizient $\text{CO}_2\text{—O}_2$ bei 0° und 760 mm Druck ist wie oben angeführt $0,18$. Für die Diffusion im Boden wäre dieser Wert wegen des Zusatzes von 79% N_2 um 12% zu erhöhen, also gleich $0,20$ zu setzen. Die Werte des scheinbaren Diffusionskoeffizienten, mit denen man im allgemeinen rechnen darf, wären also $0,07$ bis $0,10$, oder sagen wir der Sicherheit wegen $0,05$ bis $0,10$.

Setzen wir nun diese Werte von k in unsere oben abgeleiteten Formeln ein, so sind wir endlich in der Lage, einen zahlenmässigen Vergleich der Effektivität der Diffusion mit derjenigen der vorher behandelten Faktoren und mit der Normaldurchlüftung zu machen. Setzen wir $k = 0,05$ bis $0,10$ und $l = 20 \text{ cm}$, so bekommen wir für die zu einmaliger Durchlüftung bis zu dieser Tiefe nötigen Zeiten:

unter Annahme von Fall 1: 2000 bis 4000 Sekunden = $0,56$ bis $1,1$ Stunden
 » » » » 2: 1333 » 2667 » = $0,37$ » $0,74$ »

Durch Verwendung der generellen Ableitung (Fall 3) und Anschmiegen der Berechnung an empirisch gefundene Aktivitätsverteilungen fanden wir oben als erste Näherung für die zur Durchlüftung bis 20 cm Tiefe nötige Zeit $142\frac{1}{2}$ Sekunden, das macht, für $k = 0,05$ bis $0,10$, 2840 bis 1420 Sekunden = $0,4$ bis $0,8$ Stunden = 24 bis 47 Minuten. In viel genauerer Näherung haben wir dann oben, wie wir uns erinnern, die Berechnung graphisch durchgeführt, deren Resultate in Fig. 5 gegeben sind. Aus dieser

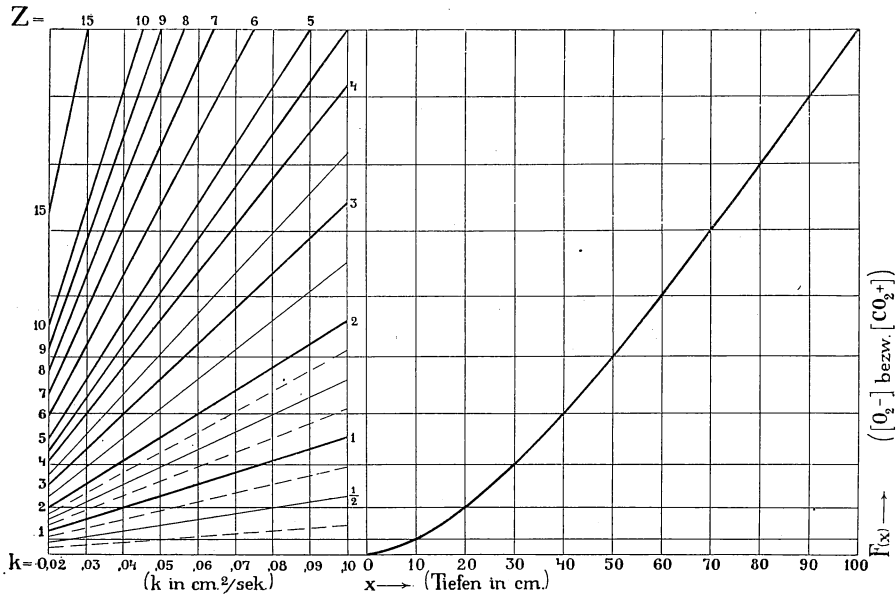


Fig. 5. Integralkurve der Kurve Fig. 4. Die Hilfstafel links dient zur Ablesung der Zeit in Stunden für einmalige Durchlüftung bis zu einer beliebigen Tiefe, bei jedem beliebigen Wert zwischen 0,02 und 0,10 des scheinbare Diffusionskoeffizienten. Vgl. weiter den Text S. [58]—[59] und [66]—[67].

Kurvan är en integralkurva till kurvan 4 och framställer totala mängderna av kol-syreöverskott eller syrebrist från ytan ned till olika djup. Medels hjälptabellen till vänster kan man för varje djup avläsa tid i timmar för engångsluftning ned till varje bestämt djup intill 1 m vid givet värde mellan 0,02 och 0,10 av den skenbara diffusionskoefficienten, eller ock, omvänt, värde å diffusionskoefficienten som måste antas för viss luftningshastighet.

Figur finden wir gleich mittels der Nebentafel links für 20 cm Tiefe und $k = 0,05$ $Z = \frac{3}{4}$ Stunde, für $k = 0,10$ $Z =$ zwischen 20 und 25 Minuten. Für 30 cm Tiefe findet man entsprechend $Z = \frac{3}{4}$ bis $1\frac{1}{2}$ Stunde u. s. w. Man kann auch die Tiefe ablesen, zu der eben während einer Stunde der Boden einmal durchlüftet wird. Man findet, mit den genannten k , 2,3 bzw. 3,5 dm.

Es ergibt sich also, dass für die oberflächliche, ein paar dm mächtige Schicht, die die biologisch wichtigste ist, die Diffusion imstande sein muss, dauernd eine Durchlüftung zu bewirken, die in der Regel die oben geforderte Normaldurchlüftung erreicht und übertrifft. Von den übrigen Faktoren könnten, wie wir uns erinnern, nur Temperaturunterschiede Boden-Luft und Wind als fähig angesehen werden, möglicherweise, unter besonders günstigen Umständen, lokal oder temporär, eine ergiebige Durchlüftung zu bewirken. Die Diffusion muss deshalb als der weitaus wichtigste unter den für die Bodenventilation in Frage kommenden Faktoren angesehen werden, ja für Waldböden dürfte man mit Sicherheit behaupten können, dass er der einzige ist, der ernstlich in Betracht kommt.

Geförderte Mengen. Wir wollen jetzt die absoluten geförderten Mengen betrachten, was zugleich gewissermassen eine willkommene Kontrolle des für die Diffusion günstigen, eben erlangten Resultats bietet.

An Hand der Kurven Fig. 2 und 4 kann man für die betreffenden Aktivitätsverteilungen folgende Fragen beantworten: Welche Mengen werden pro Zeiteinheit und durch die Einheit Porenquerschnitt an der Oberfläche befördert, wenn die p_- und p_+ in gegebener Tiefe gegebene Werte haben; und: welche Werte p_- und p_+ muss man in gegebener Tiefe annehmen, um auf eine gegebene Transportgeschwindigkeit durch die Oberfläche rechnen zu können? Das grösste Interesse knüpft sich an die Verhältnisse bei einer Aktivitätsverteilung, die den empirisch gefundenen Keimzahlkurven entspricht. Wir halten uns daher an die Kurve Fig. 4. Die Mengen, die durch 1 cm² Porenquerschnitt der Oberfläche pro Sekunde gefördert werden, sind k mal das dortige Gefälle pro cm in Atmosphären. Dieses Gefälle wird in der Fig. durch p/l dargestellt und die in verschiedenen Tiefen bei der gegebenen Aktivitätsverteilung zu erwartenden p_- bzw. p_+ durch die Ordinaten der Kurve. Wenn der Zahlenwert z. B. von p_+ in einer gegebenen Tiefe gegeben ist, ist also das Gefälle an der Oberfläche bestimmt. Zur Erleichterung der Rechnung sind in der Fig. 4 durch die Kurvenpunkte für jedes 10 cm Tiefe bis 1 m von Origo aus Geraden gezogen, und am Schnittpunkt dieser Geraden mit der Endordinate sind die Zahlen hingeschrieben, mit denen die Werte der p_- bzw. p_+ in den betreffenden Tiefen zu multiplizieren sind um das betreffende Gefälle an der Oberfläche pro cm zu erhalten. Um die CO₂-Mengen (in cm³ bei Atmosphärendruck) zu finden, die pro Sekunde durch 1 cm² Porenquerschnitt der Oberfläche befördert werden, bei einer Aktivitätsverteilung wie die angenommene und bei gegebenem p_+ in gegebener Tiefe, hat man also einfach so zu verfahren: Man sucht die Tiefe auf der Abszissenachse auf, geht gerade aufwärts bis zur Kurve, folgt der Geraden, die durch Origo und den gefundenen Kurvenpunkt geht, nach rechts bis zur Endordinate, und liest dort eine Zahl n ab; $k \cdot n \cdot p_+$ gibt dann die gesuchte Grösse. Umgekehrt findet man bei gegebener Beförderungsgeschwindigkeit an der Oberfläche (V cm³ pro cm² Porenquerschnitt und sek.) die Werte von p_+ in beliebigen Tiefen durch die Relation $p_+ = V/kn$. Oben (Kap. 5) haben wir für die in gewissen Fällen in minimo zu verlangende Förderung durch die Oberfläche eines produktiven Ackerlandes während des Hochsommers 7 lit. CO₂ pro m² Bodenfläche und Tag gefunden entsprechend 0,000008 cm³ pr cm² und sek. Die Berechnung ergibt, unter Annahme von 20 % Luftgehalt, folgende zu fordernde CO₂-Gehalte in Volumprozenten (100 p_+ + 0,03):

	$k = 0,05$	$k = 0,10$
In 10 cm Tiefe	0,65 %	0,34 %
» 20 » »	1,01 »	0,52 »
» 30 » »	1,22 »	0,63 »
» 40 » »	1,36 »	0,69 »
» 50 » »	1,48 »	0,75 »
» 1 m »	1,75 »	0,89 »

Besonders die letzte Kolonne liefert durchaus annehmbare Werte. Das Mittel aus RUSSELL & APPLEYARDS Bestimmungen für gedüngtes Ackerland

mit Weizen (32 Bestimmungen, über das ganze Jahr verteilt) ist 0,5 % in 15 cm Tiefe (vgl. Tabelle I am Ende der Abhandlung).

Versuchen wir dann eine Berechnung in der umgekehrten Richtung, und wählen wir als Beispiel den Buchenwaldboden auf Hallands Väderö (vgl. oben Kap. 5). Wir hatten experimentell in 30 cm Tiefe 100 $p_+ = 0,33$, in 60 cm 0,39 gefunden. Mit $k = 0,05$ bekommen wir aus dem ersten Wert 0,000011, aus dem zweiten 0,000010 cm³ CO₂ pro sek und cm² Porenquerschnitt, das macht pro Tag und m² Bodenfläche, unter Verwendung derselben Porositätsziffer (60 %), mit der wir oben rechneten, bezw. 5,7 und 5,2 lit. Wir hatten die Abgabe experimentell zu etwa 2,8 lit. pro Tag und m² Bodenfläche bestimmt, wir kommen also schon mit $k = 0,05$ bedeutend höher; mit $k = 0,10$, das offenbar genau die doppelten Werte gibt, würden wir sehr viel höher kommen. Nun ist ziemlich sicher 60 % Porosität sehr hoch gerechnet. Wir wählten diese hohe Ziffer oben, um sicher zu sein, nicht zu hoch für die zu fordernde Durchlüftung zu rechnen. Hier wirkt die reichliche Grösse der Ziffer dahin, die Leistungsfähigkeit der Diffusion in günstigem Licht erscheinen zu lassen. Wir wollen die Porosität berechnen, die anzunehmen wäre, um unter Festhalten an den übrigen Ziffern, die wir eben verwandten, zu einer stündlich geförderten CO₂-Menge von eben der Grösse 2,8 lit. zu kommen. Man findet bezw. 29 und 33 % mit $k = 0,05$, für $k = 0,10$ die Hälfte, also 15 %. Alles dies für eine Aktivitätsverteilung wie die nach WAKSMANS Keimzahlen. Rechnen wir in Anbetracht des gefundenen annähernd linearen Gefälles bis 30 cm mit Fall 1, nehmen wir also an, dass die gesamte Aktivität unterhalb 30 cm liegt — was zwar sehr unwahrscheinlich ist — so brauchen wir ungefähr die doppelten Werte für die Porosität, um der tatsächlichen Abgabe gerecht zu werden, brauchen also für $k = 0,05$ doch die 60 %.

Die Diffusion kann jedenfalls ganz gut für die tatsächlich beobachtete oder aus Erfahrungstatsachen erschlossene CO₂-Abgabe des Bodens verantwortlich gemacht werden.

Berechnungen über die absoluten Mengen, die durch die Diffusion gefördert angenommen werden können, sind vorher von BUCKINGHAM und LEATHER gemacht worden. Der erste rechnet zwei Beispiele durch an Hand beobachteter CO₂-Gehalte der Bodenluft und schätzt den zu erwartenden Transport durch Diffusion in dem einem Fall zu 0,1 bis 0,15, in dem anderen zu 0,04 Kubikfuss pro Quadratfuss Bodenfläche und Tag, d. h. in internationalem Mass im ersten Fall 30—46, im zweiten Fall 12 lit pro Tag und m² Bodenfläche. Die letzte Ziffer stimmt der Grössenordnung nach mit mehreren oben zitierten Ziffern überein. Die ersten sind sehr hoch; das rührt wahrscheinlich daher, dass der Verfasser mit einer reichlich grossen Porositätsziffer (und dabei gleichzeitig natürlich, auf seine Formel sich stützend, mit einem hohen k -Wert) gerechnet hat. BUCKINGHAM zeigt auch an Hand zweier Beispiele — die Zahlenwerte scheinen ziemlich unwahrscheinlich gewählt — die Möglichkeit, das umgekehrte Problem zu lösen, d. h., von einer gewissen Abgabe ausgehend, die zu erwartenden CO₂-Gehalte in verschiedenen Tiefen zu berechnen. Dabei lässt er immer das Gefälle linear sein wie in unserem Fall 1.

LEATHER (1915) vergleicht den Transport von CO₂ und O₂, den er aus BUCKINGHAMS Formeln berechnet, mit dem nach Atmungsversuchen an Bodenproben geforderten. Das Ergebnis war "that the carbon dioxide diffusing out of the soil is much about what one would anticipate from independent

evidence'', und dass die berechneten Sauerstoffmengen reichlich den geforderten Betrag deckten. Im allgemeinen kommt LEATHER zu ausserordentlich hohen berechneten Mengen, bis 190 lit. O_2 und 39 lit. CO_2 pro Tag und m^2 . Bemerkenswert ist, dass in diesen Böden (indischer Ackerboden) der Stickstoff fast so viel wie der Sauerstoff und in viel höherem Grad wie die Kohlensäure an der Diffusion beteiligt sein muss, indem teils die produzierten CO_2 -Mengen weit hinter den aufgenommenen O_2 -Mengen zurückbleiben, teils Stickstoff vom Boden produziert wird.

KAP. 8. Die Bodendurchlüftung als Diffusionsvorgang und ihre Beeinflussung durch verschiedene Faktoren.

Nachdem wir, allenfalls für Waldböden, zu dem Schluss gekommen sind, dass die normale Durchlüftung des Bodens im Wesentlichen durch Diffusion bewirkt wird, wollen wir als Abschluss der Betrachtungen über den Gasaustausch das Bild der Bodendurchlüftung als Diffusionsvorgang noch ein wenig vervollständigen, besonders uns überlegen, wie verschiedene Faktoren auf das Getriebe einwirken. Wir werden uns nach wie vor an Dauerzustände halten; am Ende dieses Abschnittes werden wir die Berechtigung dieser Vorgangsweise etwas besprechen.

Zunächst ein paar allgemeine Bemerkungen über den Zusammenhang zwischen Gesamtaktivität, durch die Oberfläche geförderten Mengen und Werten p_- bzw. p_+ in gegebenen Tiefen. Im Dauerzustand ist natürlich die pro Zeiteinheit unter einer gewissen Bodenfläche produzierte Kohlensäuremenge minus dem eventuellen Verbrauch im Boden der nach oben geförderten Menge genau gleich, und ebenso entsprechen die nach unten geförderten Sauerstoffmengen genau dem effektiven Verbrauch im Boden. (Streng braucht dies ja doch nicht für jedes Flächenelement gelten; lokale Ausnahmen werden bei Inhomogenität des Bodens in horizontaler Richtung und seitlicher Stromrichtung der Diffusion vorkommen). Im Dauerzustand strömt weiter zu jedem Volumelement des Bodens pro Zeiteinheit genau so viel Sauerstoff als aufgebraucht wird, und davon wird genau so viel Kohlensäure weggeführt, als effektiv produziert wird. In einer Tiefe also, wo keine Aktivität mehr besteht, ist die Durchlüftung Null. Wenn im Boden von einer gewissen Tiefe an Gase weder produziert noch konsumiert werden, wird in allen grösseren Tiefen im Dauerzustand das Gefälle Null herrschen, d. h. von einer gewissen Tiefe ab werden die p_- und p_+ unveränderlich dieselben Werte haben. Dies Bild dürfte praktisch in den meisten Fällen zutreffen für die Schichten, die unter den biologisch aktiven liegen, denn der rein minerale Gasumsatz dürfte in der Regel gegen den durch die biologische Aktivität des Bodens hervorgerufenen verschwindend sein. Für die Kohlensäure ist eine Schätzung der bei der Verwitterung gebundenen und der durch das Wasser nach unten geführten Mengen möglich: 1) TAMM (1920 p. 234) hat schätzungsweise die pro m^2 norrländischen Waldbodens und Jahr aus der Bleicherde ausgelaugten Mengen der wichtigsten Stoffe berechnet; wenn man annimmt, dass sowohl Fe, Ca, Mg, Na und K als saure Karbonate wandern (was, nach freundlicher Angabe des Herrn Dozenten TAMM, viel zu hoch gerechnet ist), kommt man zu einer

erforderlichen CO_2 -Menge pro Jahr und m^2 von $3,7 \text{ g} = 2 \text{ lit. (15}^\circ \text{C)}$. Legt man noch dazu eine Menge für die zunächst rein physikalische Auflösung von CO_2 im heruntersickernden Regenwasser (jährlicher Niederschlag $500 \text{ mm} = 500 \text{ lit. pro m}^2 \text{ Fläche}$; für diese ganze Wassermenge werde angenommen, dass sie eindringt und sich mit einer Bodenluft mit $2 \% \text{ CO}_2$ in Gleichgewicht setzt; macht etwa 10 lit.), so kommt man zu 12 lit. pro Jahr . 2) Aus den Flusswasseranalysen HOFMAN-BANGS (1905 p. 113) entnehme ich, dass die norrländische Byskeälv $0,23$, die aus der kalkhaltigen Uplandshalbinsel kommende Fyriså $0,74 \text{ g CO}_2$ (freie + halbgebundene + gebundene) in 10 lit. führt. Das macht für $500 \text{ lit. bezw. } 11,5 \text{ g} = 6,1 \text{ lit. und } 37 \text{ g} = 20 \text{ lit.}$ Die jährlichen Mengen sind somit von ungefähr der Grösse wie die täglich durch Gasdiffusion nach aufwärts beförderten Mengen, auch für die Fyriså, wo die gesamte CO_2 -Menge gegen 4 Volumprozenten entspricht. Dass verhältnismässig sehr grosse Mengen CO_2 im Bodenwasser enthalten sind (vgl. LEATHER 1915) braucht also nicht einen bedeutenden Transport nach unten zu bedeuten. Dass mit einem Transport durch Diffusion nach unten im allgemeinen nicht zu rechnen ist, geht schon aus den CO_2 -Bestimmungen in verschiedenen Tiefen hervor. Damit ein Diffusionsstrom nach unten überhaupt stattfände, müsste natürlich ein Gefälle in dieser Richtung vorhanden sein. Nun aber ist nach der Gesamtheit der Analysenzahlen eine Abnahme des CO_2 -Gehaltes gegen die Tiefe ein seltener Ausnahmefall. Im allgemeinen wachsen die Werte in allen untersuchten Tiefen gegen die Tiefe zu, oder sie bleiben von einer gewissen Tiefe ab unverändert, wie es aus der Aktivitätsverteilung im Boden verständlich ist. RUSSELL & APPELYARD z. B. fanden »keinen wesentlichen Unterschied« zwischen den CO_2 -Gehalten in $6''$ und in $18''$ Tiefe, die p_+ -Werte in der grösseren Tiefe waren jedoch grösser (um 13% für »grassland«, um 52% für »dunged arable land«, um 36% für »unmanured arable land«). LEATHER findet an CO_2 »as much as 5 or 6 feet deep as in the surface soil«. Der Verf. wundert sich darüber (p. 109), dass er nicht mehr CO_2 in der oberflächlichen Schicht fand, da »no doubt more carbon dioxide is formed in the latter«. Dies wäre doch nur — als Dauerzustand — möglich, wenn die CO_2 nach unten entweichen könnte, ganz abgesehen von der Aktivitätsverteilung im Boden. Die Fälle, in denen ein ausgesprochenes Fallen der Werte p_- und p_+ mit wachsender Tiefe beobachtet worden ist, sind wahrscheinlich als Anomalien anzusprechen, die durch irgendeinen besonderen Umstand zu erklären sind. FLECK hat einen solchen Fall, J. MÖLLER einen anderen, die sich beide ungezwungen erklären lassen. FLECK (1873, 1874 a) bestimmte im Sandboden auf dem rechten Elbufer den CO_2 -Gehalt in $2, 4$ und 6 m Tiefe und fand im Durchschnitt etwas niedrigere Werte in der Tiefe. Nur 10 m von der Station, wo die Proben genommen wurden, fand sich aber (1873 p. 33) ein 20 m tiefer Brunnen, der wohl für die Sache verantwortlich zu machen ist. J. MÖLLER (1878, 1879) untersuchte den CO_2 -Gehalt in Tiefen bis 2 m , teils in einem Wiesenboden, teils in verschiedenen Materialien, die in in demselben Wiesenboden gemachten Gruben von $4,5 \text{ m}^2$ Querschnitt eingefüllt waren. Dabei zeigte sich in den Gruben mit Lehm und Kalk, dass die CO_2 gegen die Tiefe abnahm, nicht aber so im natürlichen Wiesenboden. Auch dies erklärt sich ganz natürlich durch Diffusion seitwärts in den CO_2 -ärmeren Wiesenboden.

Pufferwirkung der Tiefenschichten. Der Gasaustausch der oberfläch-

lichen, biologisch wichtigen Schichten mit den Tiefenschichten wird also im Dauerzustand verschwindend sein gegen den ergiebigen Gasaustausch mit der Atmosphäre. Bei jeder Änderung, die zu einem neuen Dauerzustand, mit anderen p_- und p_+ , führt, wird aber ein Ausgleich bis zu den tiefsten lufthaltigen Tiefenschichten einsetzen. Mächtige lufthaltige Tiefenschichten werden so eine Art Pufferwirkung auf die p_- und p_+ der aktiven Schichten ausüben. Wenn z. B. durch Regen die Poren der Oberfläche vorübergehend zugestopft werden, so werden die aktiven Schichten eine zeitlang ihren O_2 -Bedarf aus den Tiefenschichten decken, und die gebildete CO_2 wird in die Tiefe wandern, so dass die Werte p_- und p_+ lange nicht die Höhe erreichen werden, wie es sonst während der Absperrung der Fall gewesen wäre. Nachdem die Poren wieder wegsam geworden sind, werden umgekehrt die p_- und p_+ langsamer als sonst bis an die normalen Werte zurückgehen.

Beteiligte Gase. Wir zitierten oben am Ende des Abschnittes Diffusion die Ergebnisse LEATHERS aus Indien, nach denen die CO_2 -Abgabe des Bodens viel geringer als die Sauerstoffaufnahme und der N_2 an der Diffusion stark beteiligt war. Prinzipiell ähnlich scheinen die Verhältnisse ziemlich allgemein zu liegen, wenn auch im allgemeinen nicht so extrem. Man findet ziemlich durchgehend, dass die Summe der prozentischen O_2 - und CO_2 -Gehalte in der Bodenluft umso niedriger ausfällt, sich umso mehr von den 21 % der Atmosphäre entfernt, je mehr die Bodenluft in ihrer Zusammensetzung von der Atmosphäre abweicht. (vgl. z. B. die Bestimmungen von RUSSELL & APPELYARD und meine eigenen unten). Es wächst also p_+ langsamer als p_- . Dies beruht wohl zum Teil darauf, dass die CO_2 sich in dem Bodenwasser auflöst (die höchsten p_- und p_+ findet man besonders in nassem Boden), liegt aber wahrscheinlich auch daran, dass der respiratorische Quotient der Bodenorganismen durchschnittlich unter 1 liegt. Was auch die Ursache sei, der Diffusionsstrom von CO_2 aufwärts ist aber also durchschnittlich schwächer als derjenige von O_2 abwärts. Die Verhältnisse können also nicht genau beschrieben werden durch die Annahme einer gleich starken Diffusion in verschiedener Richtung von CO_2 und O_2 durch 79 % N_2 hindurch. Der Stickstoff muss mehr oder weniger an der Diffusion mitbeteiligt sein, wenn auch im Boden nicht N_2 in Freiheit gesetzt wird. Jedoch ändert das an der zu erwartenden Leistungsfähigkeit der Diffusion wenig.

Aktivität und Gehalte. Zwischen der Gesamtaktivität und den Beträgen der p_- und p_+ in jeder beliebigen aber bestimmten Tiefe besteht im Dauerzustand, und wenn alles ausser der Gesamtaktivität (im besonderen auch die Aktivitätsverteilung) gleich bleibt, die einfache Beziehung, dass diese Grössen jener direkt proportional sind. Dabei darf die Aktivitätsverteilung jede beliebige aber bestimmte sein. Dieselbe Relation gilt zwischen Aktivität und (O_2 —) bzw. (CO_2 +) bis zu einer gegebenen Tiefe. Es folgt dies unmittelbar aus den oben Fall 3 abgeleiteten Formeln oder den zugehörigen Kurven. Die p_- und p_+ sind durch die Ordinaten der Kurve $f(x)$ dargestellt, die für eine gegebene Tiefe x bei gegebener Aktivitätsverteilung in einem bestimmten geraden Verhältnis zu der Grösse p stehen. Die Gesamtaktivität ist aber auch dieser Grösse proportional. Die Integralfunktion $F(x)$ stellt ja für jeden Wert von x die Fläche der Kurve $f(x)$ bis zur Ordinate über x dar; diese Fläche wird offenbar n mal grösser, wenn alle Ordinaten der Kurve $f(x)$ n mal höher werden.

Verschieden lufthaltige Böden. Die eben genannte Aktivität, mit der p_- und p_+ proportional variieren, ist ja pro Einheit des Porenquerschnittes gerechnet. Wenn also zwei Böden mit gleicher Aktivität, pro Einheit Bodenfläche gerechnet, verschiedenen Luftgehalt haben, so müssen, wenn sonst alles gleich ist, die sich einstellenden Werte p_- bzw. p_+ verschieden sein, und zwar werden sie sich umgekehrt proportional den Luftgehalten verhalten. Wenngleich also, wie wir oben fanden, der Durchlüftungseffekt, wie wir ihn aufgefasst haben, für verschieden poröse, homogen lufthaltige Böden der gleiche ist, sofern der Diffusionskoeffizient derselbe bleibt, so stellt sich die Sache anders, wenn man die zu fördernden Mengen pro Einheit Bodenquerschnitt betrachtet. Und das ist ja vom ökologischen Gesichtspunkt das Wichtige. Die unter einem m^2 Bodenfläche befindlichen Organismen atmen in der Zeiteinheit so und so viel; sie brauchen eine gewisse Sauerstoffmenge pro Zeiteinheit, und das gebildete CO_2 muss weggeführt werden, damit eine schädliche Anhäufung nicht entsteht. Das ökologische Problem ist dann ein doppeltes: 1) Welche Werte p_- und p_+ müssen sich einstellen, um eine genügend effektive Förderung herbeizuführen, oder, was dasselbe ist: welche Werte stellen sich im Dauerzustand ein? Und 2) Sind diese Werte den Organismen erträglich oder nicht?

Inhomogene Böden. Bisher haben wir den Boden stets als homogen lufthaltig angenommen. Die in der Natur häufig vorkommende, vorübergehende oder dauernde, Porositätsverminderung der oberflächlichen Schicht macht es nötig, die Verhältnisse bei derartiger Inhomogenität zu untersuchen. Eine vorübergehende Verminderung des Luftgehalts an der Oberfläche wird öfters durch Regen verursacht, eine dauernde z. B. durch Walzen eines Ackerbodens. Umgekehrt kommt es oft vor, dass die oberflächliche Schicht poröser als die unteren ist oder durch landwirtschaftliche Massnahmen gemacht wird.

In Fig. 6 ist das Resultat einer Porositätsverminderung auf $\frac{1}{5}$ der ursprünglichen dargestellt, die $\frac{1}{5}$ der ganzen Tiefe l der aktiven Schicht betroffen hat. Die angenommene Aktivitätsverteilung ist diejenige, die dem ersten Beispiel unter Fall 3 oben zugrunde lag, also ein lineäres Fallen der Aktivität von der Tiefe 0 bis zur Tiefe l . Die Kurve a stellt die Kurve von p_- bzw. p_+ dar, die in einem homogenen Boden sich einstellt. Wird aber die Porosität zwischen 0 und $\frac{l}{5}$ gleichmässig auf $\frac{1}{5}$ herabgesetzt, und bleibt sonst alles gleich, werden sich die neuen p_- bzw. p_+ , die durch die gebrochene Kurve b dargestellt sind, einstellen. Für alle Punkte zwischen $x=0$ und $x=\frac{l}{5}$ sind die Ordinaten die 5-fachen gegen früher, für alle Punkte $x > \frac{l}{5}$ sind die Ordinaten die alten plus einem konstanten Wert gleich der neuen Ordinate bei $x=\frac{l}{5}$. In der Tiefe l werden, wie man sieht, nunmehr fast dieselben p_- bzw. p_+ herrschen, wie wenn die gesamte Aktivität unterhalb l läge und die ursprüngliche Porosität gleichmässig bestände, und in allen Tiefen grösser als l werden im Dauerzustand etwa dreimal so hohe Werte p_- und p_+ bestehen wie zuvor.

Eine gleichmässige Porositätsverminderung innerhalb einer Schicht, die dann unvermittelt von einer anderen Schicht mit anderer, aber wiederum gleichmässiger Porosität abgelöst wird, kommt natürlich in der Natur kaum vor, sondern der Übergang ist allmählich. Es ist ein rein mathematisches Problem, das keine besonderen Schwierigkeiten macht, auch solche Fälle zu behandeln. Die Kurve ist so zu ziehen, dass das Gefälle, d. h. ihre Neigung, ihre Derivate,

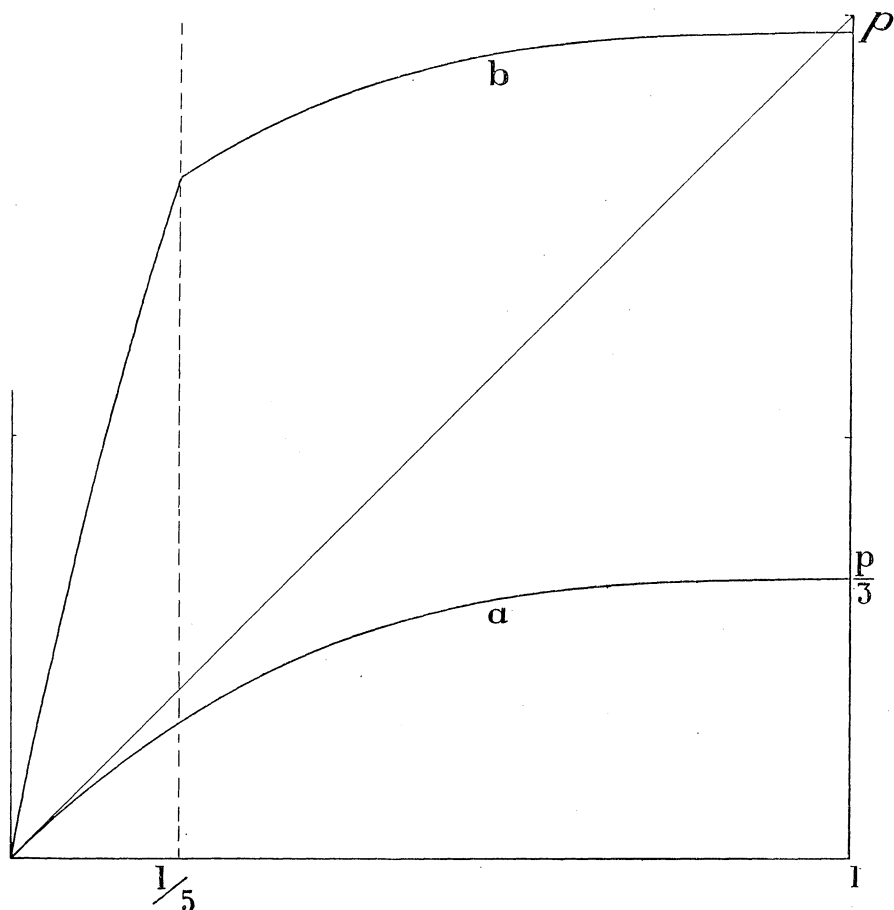


Fig. 6. Gehaltkurven für den Fall 3, erstes Beispiel, einmal (a) unter Annahme eines homogen lufthaltigen Bodens, und dann (b) wenn der Luftgehalt in der obersten Schicht bis zur Tiefe $1/5$ auf $1/6$ der vorigen erniedrigt worden ist. Durch ein Versehen ist das p in $p/3$ nicht kursiv gezeichnet worden.

Kurvan *a* framställer kolsyreöverskott eller syredeficit på olika djup, som böra inställa sig i homogent lufthaltig mark, om aktiviteten sjunker lineärt från ytan till o å djupet 1 . Kurvan *b* är motsvarande kurva, representerande de förhållanden som inträda, om lufthalten i det översta skiktet ned till djupet $1/5$ nedsättes till $1/6$ av den gamla.

in jedem Punkt gegen früher proportional der Porositätserniedrigung erhöht ist.

Wasser im Boden. Es ist klar, dass eine Porositätserniedrigung auch einer sehr dünnen Schicht eine Erhöhung der p_- und p_+ in allen Tiefen darunter bewirken muss. Nach vollständiger Verstopfung der Poren der Oberflächenschicht werden die p_- und p_+ bis zu den höchsten denkbaren Werten ansteigen können, falls die Aktivität fortdauert. Eine Füllung der Diffusionsräume mit Wasser wird, wie schon oben bemerkt, die Diffusion in den betreffenden Räumen auf etwa $1/10000$ des normalen Betrages herabdrücken,

entsprechend dem niedrigen Wert des Diffusionskoeffizienten in Wasser. Tatsächlich hat man vielfach einen sehr ausgesprochenen Einfluss des Wassers im Boden auf den CO_2 - und O_2 -Gehalt der Bodenluft bemerkt. Die höchsten CO_2 - und niedrigsten O_2 -Gehalte, die überhaupt in Bodenluft beobachtet worden sind, hat man (abgesehen von den Extremziffern MANGINS von Boden unter Asphaltbelag in den Pariser Boulevarden) an Lokalitäten wie Reisfeldern (HARRISON & AIVER), »waterlogged soil« (RUSSELL & APPELYARD) gefunden (vgl. Tab. I). »In our experience the oxygen falls very low only in waterlogged soils«, sagen die letztgenannten Autoren (1915 p. 8). Das stimmt sehr gut mit meinen eigenen Beobachtungen überein (siehe unten). Man hat auch vielfach gefunden, dass der Regen einen vorübergehenden Einfluss in derselben Richtung ausübt. FODOR (1882) findet, dass von 165 Analysen, die an Regentagen vorgenommen wurden, 97 eine Steigerung der CO_2 gegen vorher, 15 »keine Änderung« und 53 eine Abnahme zeigten. Wenn man die merkwürdige Klasse keine Änderung entzwei schlägt, bekommt man 104,5 Fälle +, 60,5 —. Das macht für Steigerung eine Wahrscheinlichkeit von $0,633 \pm 0,038$. Die Differenz $0,633 - 0,5 = 0,133$ ist mit dem mittleren Fehler $0,038$ zwar unsicher, jedoch wahrscheinlich wirklich. FODOR glaubt aus seinen Analysenserien herauslesen zu können, dass die Wirkung des Regens eine dreifache ist: erstens eine Erhöhung der CO_2 infolge Verstopfung der Poren; dann eine Erniedrigung infolge Absorption von CO_2 ; endlich nach einigen Tagen eine neue Steigerung infolge erhöhter Aktivität im Boden. RUSSELL & APPELYARD finden in ziemlicher Übereinstimmung mit FODOR, dass unmittelbar nach dem Regen bisweilen, aber nicht immer, der CO_2 -Gehalt fällt, um bald nachher höher als früher zu steigen. Die Verfasser finden eine deutliche Korrelation zwischen dem Regenfall in den 7 Tagen vor der Probenahme und dem CO_2 - und O_2 -Gehalt. Zu diesem Resultat tragen wohl sowohl Porositätserniedrigung wie Aktivitätssteigerung bei. GAARDER & HAGEM (1921) finden auch eine deutliche Steigerung des CO_2 -Gehalts und des O_2 -Defizits in regnerischen Perioden.

Der Regen muss, wie Wasser im Boden überhaupt, jedenfalls als überwiegend steigernd auf p_- und p_+ einwirkend angesehen werden. Die schnell vorübergehende Erniedrigung des CO_2 -Gehalts, die man bisweilen zu finden glaubt hat, wäre einigermassen verständlich nach einem kühlen Regen, der gleichzeitig die Produktion erniedrigt. Wasser löst bekanntlich CO_2 bei gewöhnlicher Temperatur nur ungefähr so viel, dass ebenso viel in Lösung geht als in der verdrängten Bodenluft vorhanden war; der betreffende Effekt des eindringenden Regens entspräche also ungefähr demjenigen des Eindringens eines gleichen Volumens atmosphärischer Luft. Das ist also sehr unbedeutend (vgl. oben unter C. Wasser). Ein vorher trockener Boden kann aber durch Befeuchtung instandgesetzt werden CO_2 zu absorbieren, wie schon FODOR experimentell zeigte (1881 p. 42—43). Für O_2 in Wasser ist der Löslichkeitskoeffizient bei gewöhnlicher Temperatur nur $\frac{1}{40}$ bis $\frac{1}{30}$ desjenigen für CO_2 . In den Boden eindringendes Regenwasser, das mit der atmosphärischen Luft in Gleichgewicht steht, enthält also nur soviel Sauerstoff wie ein gleiches Luftvolum mit 0,6 bis 0,9 % O_2 und gewährt demnach für den Boden einen Gewinn an Sauerstoff nur dann, wenn die verdrängte Luft weniger als diese Beträge enthielt, während gleichzeitig die Diffusion in den wassergefüllten Räumen praktisch sistiert wird. Zwar für die lokalen Zentren

von Sauerstoffmangel, die auch in einem gutdurchlüfteten Boden vorkommen (vgl. die beiden Bodenatmosphären RUSSELLS & APPEYARDS, 1915) wird das Wasser augenblicklich eine bessere Sauerstoffzufuhr bewirken z. B. für alle schon vorher wassergefüllten Räume.

Lehm- und Tonböden. Ausser in nassen Böden ist die Durchlüftung, wie wir schon oben gesehen, in oder unter einer Schicht dichten, rissfreien Lehmes oder Tons sehr erschwert. In derselben Weise wird auch ein Verschlämmen der Poren der Oberfläche mit feinstem Material wirken können, auch wenn die Porosität nach dem Austrocknen gross genug wäre, denn in diesem Fall handelt es sich, wie wir uns erinnern, um eine Herabsetzung des scheinbaren Diffusionskoeffizienten infolge der extremen Kleinheit der Porendimensionen.

Luftdruck und Temperatur. Zuletzt haben wir den Einfluss von Luftdruck- und Temperaturschwankungen auf den Gasaustausch durch Diffusion zu besprechen. Wie oben bemerkt, variiert die Diffusionsgeschwindigkeit umgekehrt proportional dem Druck und etwa direkt proportional dem Quadrat der absoluten Temperatur. Dies gilt, wenn die diffundierten Mengen in Masseneinheiten gerechnet werden und das Gefälle als Gefälle der Konzentration d. h. der Masse in der Volumeinheit. Bei Versuchen über Diffusion pflegt man die diffundierten Mengen in auf 1 Atm. Druck, nicht aber auf Normaltemperatur reduzierte Volumina zu rechnen, und das Gefälle als Partialdruckgefälle (in Atm.). Man bekommt natürlich auch dann die gleiche Abhängigkeit. Wenn aber die diffundierten Mengen als Massen gerechnet werden und das Gefälle als Partialdruckgefälle, wird die Diffusion bei gleichem so definierten Gefälle nicht annähernd proportional dem Quadrat, sondern annähernd einfach der absoluten Temperatur proportional variieren. Ökologisch ist wohl dies die richtigste Berechnungsweise. Denn was physiologisch eine Rolle spielt, ist wahrscheinlich der Partialdruck, und was uns interessiert, ist der Partialdruck, der sich in gegebener Tiefe einstellen muss, um eine der Produktion bezw. Konsumtion entsprechende Masse in der Zeiteinheit zu befördern. Was man bei Bodenluftanalysen bestimmt, ist aber nicht der Partialdruck in Atmosphären, sondern die volumprozentische Zusammensetzung, d. h. der Partialdruck in Prozenten des herrschenden Gesamtdrucks, und so ist der Hinweis am Platze, dass bei so gemessenem Gefälle die Diffusion nicht umgekehrt proportional dem Druck ist, sondern von ihm unabhängig. Somit werden sich p_- und p_+ bei gleichbleibender Produktion nicht mit dem Luftdruck ändern. Eine Temperaturabhängigkeit bleibt aber bestehen, wenn auch nur gerade, nicht quadratisch. Bei einer Temperatursteigerung von 0° auf 10° wird die Diffusion in Masseneinheiten, bei gleichem Gefälle in Druckeinheiten, um 3,7 % lebhafter werden, und bei einer Steigerung von 10° auf 20° um 3,5 %. Bei gleichbleibender Produktion würden also p_- und p_+ bei Steigerung der Temperatur um 10° einige Prozente niedriger. Nun hat aber die biologische Aktivität im Boden eine viel grössere Temperaturabhängigkeit. Sie wird rein physiologisch etwa wie die chemischen Reaktionen 2 bis 3 mal beschleunigt bei einer Temperaturerhöhung von 10° , ökologisch unter Umständen noch mehr. Das wirkliche Resultat einer Temperaturerhöhung wird also eine Steigerung der p_- und p_+ sein, was man auch tatsächlich beobachtet.

Änderung der Aktivitätsverteilung durch Temperatur. Eine ungleichmässige Temperaturerhöhung wird eine Änderung der Aktivitätsverteilung bewirken. Eine Erwärmung der oberflächlichen Schicht z. B. wird,

so lange die Feuchtigkeit ausreichend ist, eine Atmungssteigerung in dieser Schicht bewirken, ein grösserer Teil der Aktivität als zuvor wird also ganz nahe der Oberfläche lokalisiert sein. Es entsteht also eine günstigere Aktivitätsverteilung, wenn dies aber so geschieht, dass die Aktivität überall unverändert bleibt ausser in der erwärmten Schicht, wo sie erhöht ist, so muss dadurch durchweg eine Erhöhung der p_- und p_+ eintreten; diese ist nach den oben angegebenen Prinzipien zu berechnen, wenn die Daten bekannt sind. Unterhalb der erwärmten Schicht sind die p_- und p_+ überall um einen konstanten Wert erhöht, gleich der Differenz der neuen und alten p_- bzw. p_+ auf der Grenze zur erwärmten Schicht. Z. B. für eine Aktivitätsverteilung wie im ersten Beispiel oben Fall 3 (linear fallend), wenn die obere Hälfte der aktiven Schicht derart erwärmt wird, dass die Aktivität an der Oberfläche die doppelte gegen früher ist und dann allmählich linear fällt bis zum alten Wert bei $l/2$, bekommt man eine Erhöhung von p_- und p_+ in der Tiefe $l/2$ von $2/7$ des alten Werts und unterhalb dieser Tiefe überall ebendiese konstante Erhöhung. Wenn also in einem konkreten Fall $l = 40$ cm und der alte Wert p_+ in dieser Tiefe 1 % ist, entsprechend $7/8$ % in der Tiefe $l/2 = 20$ cm, so werden die neuen p_+ : in 20 cm $1\frac{1}{8}$ %, in 40 cm $1\frac{1}{4}$ %. Bei dieser Berechnung wurde der kleinen Änderung des Diffusionskoeffizienten infolge der Temperaturänderung nicht Rechnung getragen. Dies wäre zwar auch möglich, würde aber die Sache ohne entsprechenden Gewinn komplizieren.

Tägliche Schwankung. Der Umstand, dass eine Aktivitätssteigerung einer oberflächlichen Schicht z. B. infolge Erwärmung die p_- und p_+ aller darunter lagernden Schichten erhöhen muss, ist ja nach unseren Auseinandersetzungen selbstverständlich, verdient aber besonders bemerkt zu werden, weil wahrscheinlich die schnellen Schwankungen in der Zusammensetzung der Bodenluft zum grossen Teil in solcher Weise zu erklären sind. Die schnellen Schwankungen hat man sonst allgemein, im Gegensatz zu den jahreszeitlichen, durch Variationen in der Wirksamkeit der durchlüftenden Faktoren erklären zu müssen geglaubt. FODOR (1882 p. 132) sagt über die täglichen Schwankungen: »Daran ist einmal gar nicht zu denken, dass auch diese Schwankung von unaufhörlichen Modifikationen des Zersetzungsprozesses herrührte«. Im Gegenteil hätte man an Variationen in den durchlüftenden Faktoren wie Wind, Luftdruck u. s. w. zu denken. RUSSELL & APPEYARD (1915 p. 33) sagen über denselben Gegenstand, dass die »minor fluctuations probably not associated with the production but only with variations in the agencies causing loss« sind. Dazu möchte ich bemerken, dass die Annahme, die wir eben machten, nämlich eine Aktivitätssteigerung auf das Doppelte an der Oberfläche, die gegen die Tiefe linear abklingt, um in 20 cm Tiefe Null zu werden, einer Temperaturamplitude von weniger als 10° an der Oberfläche entspricht, die in 20 cm Tiefe ganz ausgeklungen ist. Es sind dies Ziffern, die bei der täglichen Temperaturvariation im Boden auf dem freien Felde oft vorkommen und übertroffen werden. Eine solche Temperaturvariation würde aber, wie wir gesehen haben, eine Schwankung der p_- und p_+ von etwa 29 % des Minimums in 20 cm Tiefe und von 25 % in 40 cm und grösseren Tiefen verursachen können. Entsprechende Aktivitätssteigerungen können natürlich durch Niederschlag in einem ausgetrockneten Boden verursacht werden, und dieser Effekt wird sich zu den vorher erwähnten Wirkungen

des Regens addieren. Übrigens hat KOPELOFF (1916) bei Kulturversuchen mit bodenbewohnenden Pilzarten eigentümliche, anscheinend ganz autonome Schwankungen der Aktivität (Ammoniakproduktion) von sehr grosser Amplitude mit Maximum jeden zweiten Tag gefunden.

Gemessene Gehalte. Der Vollständigkeit halber seien hier zuletzt ein paar Worte dem Zusammenhang zwischen den Werten p_- bzw. p_+ und den gemessenen Gehalten in der Bodenluft gewidmet. Im allgemeinen werden die Gehalte sehr nahe $(21-100 \cdot p_-) \%$ bzw. $(100 \cdot p_+ + 0,03) \%$ sein. Der O_2 -Gehalt der Atmosphäre scheint sehr wenig zu variieren. Die Schwankung des CO_2 -Gehalts ist zwar prozentuell bedeutend, die absoluten Beträge der Schwankung jedoch wohl immer im Vergleich mit den Gehalten in der Bodenluft gering. Immerhin hat MC LEAN (1919) im tropischen Regenwald (Brasilien) die enormen Werte von 0,14 und 0,34 % (abends bzw. morgens; Windstille; nur diese zwei Bestimmungen) gefunden. Es sind aber dies meines Wissens durchaus Extremwerte. Wenn der CO_2 -Gehalt der untersten Schicht der Atmosphäre von dem normalen, 0,03 %, auf den höchsten Wert MC LEANS erhöht wird, so werden sich offenbar die CO_2 -Gehalte in der Bodenluft in allen Tiefen um den konstanten Wert 0,31 % erhöhen müssen, wenn sonst alles gleich bleibt. Dass solche hohen CO_2 -Werte wie die zitierten oder noch höhere sich nicht öfters in der freien Luft an der Bodenoberfläche einstellen, liegt natürlich nicht wenig an der regen Zirkulation der Atmosphäre, und somit wird der Wind in dieser Hinsicht für die Bodendurchlüftung von Bedeutung sein.

Abweichungen vom Dauerzustand. Wir haben jetzt den zu erwartenden Einfluss verschiedener Faktoren auf die Bodendurchlüftung durch Diffusion geprüft und gefunden, dass durchgehend die Verhältnisse sich sogar ziemlich einfach berechnen lassen. Eine Schwäche unserer Ausführungen könnte man darin finden, dass wir nur Dauerzustände betrachtet haben, obwohl, wie schon oben hervorgehoben, solche kaum je in der Natur vorkommen dürften, wo alles von Tag zu Tag und von Stunde zu Stunde wechselt. Wir wollen daher hier an letzter Stelle eine kleine Apologie für unser Vorgehen versuchen. Zunächst kann behauptet werden, dass es nicht einzusehen ist, dass die Diffusion wesentlich mehr oder weniger leisten würde als berechnet, auch wenn die Verhältnisse unter steten kleinen Änderungen hin und her um einen Dauerzustand schwanken; die Abhängigkeit der Diffusionsgeschwindigkeit vom Gefälle ist ja eine einfache Proportionalität. Die grossen Änderungen des Gleichgewichts werden vornehmlich durch vorübergehendes Verstopfen der Poren der Oberfläche mit Wasser verursacht sein. Die Verhältnisse unter solchen Umständen haben wir oben diskutiert und auf die Pufferwirkung der Tiefenschichten aufmerksam gemacht. Die normale tägliche Schwankung in der Zusammensetzung der Bodenluft beträgt nach FODORS Serien während gewisser Perioden nur etwa 5 % von Tag zu Tag, bisweilen erreichte aber die Änderung 45 % von einem Tag zum andern. Wenn die letzte Änderung sich auf 24 Stunden verteilt, wird die Änderung pro Stunde etwa 2 %. Da, wie wir oben gefunden haben, bei der normalen Diffusion stündlich Mengen durch die Oberfläche gefördert werden, die dem (O_2 —) und dem (CO_2 +) bis zu einer Tiefe von ein paar dm entsprechen, also etwa in einer Minute 2 % dieser Mengen, so dürfte man annehmen können, dass für die oberen paar dm die Abweichungen vom Dauerzustand

auch bei solch schneller Änderung unbedeutend sein werden. Falls tiefere Schichten vorhanden sind, werden diese aber nachhinken. Der bemerkenswerteste Einfluss der nachhinkenden unteren Schichten auf die Verhältnisse in der aktiven Schicht wird der sein, dass bei sinkender Aktivität die Kurven der p_- und p_+ in der aktiven Schicht sich mehr der linearen Gestalt für Fall 1 oben nähern werden als der Aktivitätsverteilung entspricht. Bei steigender Aktivität wird umgekehrt eine Kurvenform erhalten, die einer günstigeren Aktivitätsverteilung als der wirklichen entspricht.

* * *

Zusammenfassung. Wir können die wichtigsten Ergebnisse unserer Untersuchung über den Mechanismus der Bodenventilation in folgende Punkte zusammenfassen:

1) Die Bodenventilation wird in natürlichen Böden vornehmlich, in Waldböden praktisch ausschliesslich durch Diffusion bewirkt.

2) Die Durchlüftung und die in gegebenen Tiefen sich einstellenden Werte des relativen CO_2 -Überschusses p_+ und O_2 -Defizites p_- sind in erster Linie von der Aktivität und der Aktivitätsverteilung im Boden sowie von dessen luftgefülltem Porenvolum (Luftgehalt) abhängig. Den letzten Punkt betreffend ist nicht der durchschnittliche Luftgehalt, sondern vor allem derjenige der oberflächlichen Schicht entscheidend.

3) Wenn sonst alles gleich ist, im besonderen auch die Aktivitätsverteilung, sind die sich in gegebener Tiefe einstellenden Werte p_- und p_+ direkt einfach proportional der Aktivität.

4) Wenn die Gesamt-Aktivität in verschiedenen Böden mit gleichem Luftgehalt gleich ist, die Aktivitätsverteilung jedoch verschieden, so sind die sich einstellenden p_- und p_+ in allen Tiefen am niedrigsten in dem Boden, wo die Aktivität am meisten gegen die Oberfläche zu angehäuft ist.

5) In homogen lufthaltigen Böden mit gleicher Aktivität und Aktivitätsverteilung sind die in gleichen Tiefen sich einstellenden p_- und p_+ umgekehrt proportional dem Luftgehalt des betreffenden Bodens. Dies gilt für jede beliebige Tiefe.

6) Die Korngrösse des Bodens spielt eine sehr untergeordnete Rolle, sofern sie nicht eine gewisse Minimalgrösse untersteigt. Eine Schicht kompakten Lehms oder Tons setzt aber die Durchlüftung ausserordentlich herab (z. B. zu etwa $1/100$ der normalen).

7) Verstopfung der Poren mit Wasser setzt die Durchlüftung durch die verstopften Räume zu etwa $1/10000$ der normalen herab.

8) Die Aktivität und der Luftgehalt der oberflächlichen Schichten beeinflussen die p_- und p_+ sämtlicher darunter lagernden Schichten. Eine teilweise Verstopfung der Poren der Oberfläche oder eine gesteigerte Aktivität einer Schicht nahe unter der Oberfläche genügen also, um die p_- und p_+ in allen unteren Schichten zu erhöhen. Umgekehrt beeinflusst die Aktivität der unteren Schichten die p_- und p_+ der darüber lagernden.

9) Bei beliebiger aber bekannter Aktivität, Aktivitätsverteilung und Luftgehalt in verschiedenen Tiefen sind für jede beliebige Tiefe die sich einstellenden p_- und p_+ annähernd zu berechnen (wenn es sich nicht um extrem feinkörnige Böden handelt, wo man über den k -Wert im Ungewissen ist). Umgekehrt kann bei gegebenen p_- und p_+ und Kenntniss der übrigen genannten Daten ausser einem das fehlende annähernd berechnet werden.

TEIL III. Die ökologische Bedeutung eines Sauerstoffdefizits und eines Kohlensäureüberschusses im Boden.

KAP. 9. Einige experimentelle Daten.

Der O_2 -Bedarf der Wurzeln ist der ökologische Ausdruck dafür, dass die Wurzeln atmen, d. h. O_2 verbrauchen. An die ökologische Seite dieser seit INGENHOUSZ bekannten Tatsache hat schon SAUSSURE gedacht und auch schon an Pflänzchen von Rosskastanie experimentell den Sauerstoffbedarf der Wurzeln nachgewiesen. Auch er fand schon, dass CO_2 nicht nur durch Verdrängung des O_2 schädlich wirkte, sondern noch eine spezielle Giftwirkung ausübte; damit übereinstimmend fand er, dass schon 8 % CO_2 in der Luft die Keimung von Samen hemmte, und glaubte zu finden, dass Samen in Humus langsamer keimten als in Sand oder zwischen feuchten Schwämmen, was er der CO_2 -Produktion seitens des Humus zuschrieb.

Kritische Konzentrationen. Dass die Wurzeln und Bodenorganismen Sauerstoff brauchen und dass CO_2 in gewissen Konzentrationen schädlich wirken kann, genügt aber nicht, die Bodenventilation zu einem ökologischen Faktor zu machen. Das ökologische Problem ist dies: Spielen die im Boden, in den biologisch wichtigen Schichten, wirklich vorkommenden Werte von O_2 -Defizit und CO_2 -Überschuss eine Rolle für das Gedeihen oder Nicht-Gedeihen der betreffenden Organismen? Kommt es vor, dass die kritischen Werte überschritten werden? Sind beträchtliche spezifische Differenzen in der Toleranz verschiedener Formen vorhanden, und berechtigen ihre Grösse und die Lage der kritischen Punkte zu der Annahme, dass die Bodenventilation als Standortsfaktor in Frage kommt?

Zur Orientierung über diese Fragen sind in den Tab. IX—X (p. [81]—[86]) nach der Literatur experimentell gefundene kritische O_2 - und CO_2 -Konzentrationen zusammengestellt. Die Tabellen erstreben eine relative Vollständigkeit, jedoch sind kritische übernormale O_2 -Konzentrationen, die in der Natur kaum eine Rolle spielen, nicht mitgenommen. Man findet zunächst, dass sehr bedeutende spezifische Differenzen vorkommen. Wenn man die niedrigeren wirksamen O_2 -Defizit- und CO_2 -Werte überblickt, neigt man zu dem Schluss, dass bei dem Vorkommen eines O_2 -Defizits und eines CO_2 -Überschusses von je ein paar % eher dieses als jenes gefährlich ist. Die CO_2 , dieser nächst dem Wasser wichtigste Nährstoff der Pflanzen, hat sich mehrfach schon in ziemlich geringen Konzentrationen als giftig erwiesen, während die meisten Lebensprozesse der Pflanzen innerhalb ziemlich weiter Grenzen von der O_2 -Konzentration unabhängig normal verlaufen.

Bei der ökologischen Deutung von Laboratoriumstatsachen muss man aber daran denken, dass auch der Zeitfaktor eine grosse, ja entscheidende Rolle spielen kann, und also Abweichungen von dem Normalen von einer Grösse, die im Laboratoriumsperiment nicht genügt, um eine bemerkbare Einwirkung hervorzurufen, in der Natur bei längerer Einwirkung von einschneidender Bedeutung sein können. Zur Demonstration braucht nur darauf hingewiesen zu werden, dass Kulturversuche im allgemeinen so schwierig sind. Es hängt

dies eben damit zusammen, dass im Kulturversuch alle unsere Unkenntnis von den Bedürfnissen der Pflanze, alle unsere kleinen Missgriffe, die in einem kurzdauernden Versuch nicht oder kaum stören, sich auf die Dauer zu einem Resultat summieren, das oft den Tod der Pflanze bedeutet. Die grosse Bedeutung des Zeitfaktors geht teilweise schon aus den Tabellen IX und X hervor.

Im speziellen haben uns betreffend den O_2 -Bedarf der Wurzeln u. s. w. physiologische Versuche gelehrt, dass bei geringerem O_2 -Druck die Atmung, als CO_2 -Abgabe gemessen, zunächst zwar sehr wenig oder gar nicht abnimmt, jedoch nicht mehr normal verläuft, indem sie ganz oder teilweise in sog. intramolekulärer Atmung besteht, bei der Alkohol und andere Produkte entstehen, die auf die Dauer schädliche Konzentrationen erreichen und Vergiftung hervorrufen.

Die "zwei Atmosphären" des Bodens; Aërotropismus. Bei der ökologischen Beurteilung der in Bodenluft beobachteten O_2 - und CO_2 -Gehalte muss man auch daran denken, dass man nach RUSSELL & APPLEYARD von zwei Atmosphären im Boden sprechen kann, einer sauerstoffreichen und CO_2 -armen, welche die Bodenluftanalysen betreffen, und einer bedeutend O_2 -ärmeren und CO_2 -reicheren, die im Boden gelöst und sorbiert ist. Dass auch in einem gutdurchlüfteten Boden lokale Zentren von O_2 -Mangel vorkommen, erhellt schon daraus, dass Anaëroben wie der Tetanusbazillus z. B. in Gartenerde vorkommen. Andererseits haben die bodenbewohnenden Organismen und Organe vielfach die Fähigkeit, die ihnen am meisten zusagenden Konzentrationen aufzusuchen. Wohlbekannt ist die Aërotaxis der Bakterien u. s. w. Betreffend die entsprechende Reizbarkeit der Wurzeln sind zwar die Erfahrungen ein wenig kontrovers, und teilweise stehen Resultate gegen Resultate (vgl. BENNET, SAMMET). An der Existenz eines Aërotropismus bei Wurzeln braucht man jedoch nach den Versuchen von MOLISCH, EWART, POLOWZOW und CLEMENTS kaum zu zweifeln; dabei scheint zwar vorläufig unentschieden, ob die Krümmungen positive Reaktionen auf O_2 oder negative auf CO_2 oder andere Giftstoffe sind; diese Frage ist aber biologisch von untergeordneter Bedeutung. Biologisch interessant ist dagegen, dass deutliche Krümmungen nur bei hochgradigem O_2 -Mangel (in Wasser, in wassergesättigter Erde, in einer Bodenatmosphäre von fast reinem N_2 oder H_2) zutage getreten sind (ausser in den Versuchen SAMMETS).

Spezifische Differenzen. Der wichtigste Schluss, den man aus den Daten Tab. IX und X ziehen kann, ist der, dass grosse spezifische Differenzen zwischen verschiedenen Pflanzen — auch zwischen zu demselben biologischen Typ gehörigen — vorkommen. Die absoluten Ziffern, die an sich ökologisch wenig interessieren, da sie fast durchgehend Pflanzen wie Mais, Gartenbohnen u. s. w. betreffen, deuten immerhin darauf hin, dass auch für Pflanzen mit sehr O_2 -bedürftigem Wurzelsystem ein CO_2 -Überschuss oder ein O_2 -Defizit von weniger als ein paar % nicht schadet.

Zur weiteren Demonstration von den spezifischen Differenzen werden eine Reihe von mehr qualitativ ausgeführten Versuchen referiert, die deutliche Differenzen zeigten zwischen verschiedenen Getreide- (JENTYS) und Gemüsearten (NOYES), sowie zwischen verschiedenen wilden Pflanzen, auch zwischen solchen, die zusammen vorkommen (CANNON). Auffallende Differenzen haben sich zwischen Wasserpflanzen und Landpflanzen gezeigt (BABCOCK, BERGMAN 1920, KRAUS,

GLÜCK). Differenzen zwischen zwei biologisch wie systematisch nahestehenden Arten scheinen die Resultate THATCHERS an *Salix pentandra*, verglichen mit den an der speziellen vielerforschten aber namenlosen *Salix*-Art der Carnegie-institution (vgl. Tab. IX und X) gewonnenen, zu ergeben.

Bei einer und derselben Pflanze können verschiedene Funktionen bei verschiedenen Konzentrationen gestört werden (vgl. CHAPIN in Tab. X), und verschieden alte Organe zeigen nach CANNON 1917 verschiedene Toleranz.

Akute Wirkung einer Herabsetzung des Gasaustauschs. Eine Funktion der Wurzel, deren Nachlassen sehr bald verhängnisvoll für die ganze Pflanze wird, ist die Wasseraufnahme. Es hat sich nun gezeigt, dass eine genügend starke Hemmung der O_2 -Zufuhr an O_2 -bedürftige Wurzelsysteme sowohl die aktive Wasseraufnahme seitens der Wurzeln wie die Wasserfiltration durch die Wurzeln hindurch ausserordentlich erschwert (WIELER, CHAMBERLAIN, JOST 1916), so dass nach mehr oder weniger starkem Entzug von O_2 der Transpirationsstrom versiegt und die oberirdischen Teile welken (FREE & LIVINGSTON, LIVINGSTON & FREE, BERGMAN 1920). Auch eine allzustarke CO_2 -Konzentration erschwert den Wassertransport (KOSAROFF).

Wasserkulturen. Das schlechte Gedeihen vieler Landpflanzen in Wasserkultur hängt wohl vor allem damit zusammen, dass die Wurzeln infolge der langsamen O_2 -Aufnahme einer ruhigen Wasserfläche und der langsamen Diffusion im Wasser zu wenig O_2 erhalten, so dass der Transpirationsstrom zu schwach wird. Pflanzen in Wasserkultur bluten schlecht oder gar nicht (CHAMBERLAIN, JOST 1916). Der Zuwachs wird oft besser, wenn die Kulturen durchlüftet werden (ARKER, HALL-BRECHLEY-UNDERWOOD, siehe CLEMENTS p. 17 & 23; vgl. auch die Keimungsversuche von KRAUS). Freilich in anderen Fällen hat man eine günstige Wirkung von Durchlüftung vermisst (WACKER, FREE, HOLE & SINGH). Über günstige Wirkung einer künstlichen Durchlüftung in normal lufthaltiger Erde habe ich andererseits nur eine Angabe finden können, die einigermaßen sicher erscheint (CANNON 1915 a, Versuche mit *Opuntia versicolor*), die Resultate waren aber auch in diesem Fall nicht "entirely consistent" (Temperatur als Fehlerquelle?). Die Resultate DAYS (CLEMENTS p. 19) sind offenbar durch Inhomogenität des Materials bedingt.

Kronische Wirkung einer Herabsetzung des Gasaustauschs. Man hat gefunden, dass die Kulturflüssigkeit in Wasserkulturen mit der Zeit giftig wird (vgl. z. B. MOLLIARD). Der günstige Effekt einer häufigen Erneuerung der Kulturflüssigkeit liegt wohl teilweise an dem erhöhten durchschnittlichen O_2 -Gehalt der Flüssigkeit, teilweise an der Wegschaffung von Toxinen. Der Effekt zeigt sich auch in vollauf genügend starken Nährlösungen, wo mit Nährsalzhunger nicht gerechnet werden kann (vgl. STILES). Reinigung mit Kohle wirkt auch günstig, aber nicht so kräftig wie Erneuerung der Flüssigkeit (TREALESE & FREE). Als Beispiele für Toxinbildung bei mangelndem O_2 -Zutritt können wohl auch die Erfahrungen von BÖHM 1885, SCHREINER & REED 1907 und VAN DER WOLK (Toxinproduktion von mit nasser Baumwolle bandagierten *Cocos*-Wurzeln) angeführt werden. NOYES & WEGHORST fanden eine langandauernde Nachwirkung von CO_2 -Behandlung des Bodens in Kulturen von Gemüsearten, die auf eine Toxinbildung infolge der CO_2 -Behandlung hindeuten.

Auch in normaler Umgebung hat man zwar in den bekannten Woburn-Versuchen eine Toxinproduktion gefunden. HOWARD & HOWARD (1915 b)

und CLEMENTS vermuten, dass der Stoff, der in diesen Versuchen den schädlichen "Graseffekt" hervorrief, lediglich CO_2 sei, was mir jedoch nach den neuen Versuchen (vgl. PICKERING 1917) sehr unwahrscheinlich erscheint. PICKERING weist auf die Möglichkeit hin, dass das Gift von den toten Abfallresten des Grases u. s. w. herrühren könnte; als eine Parallele könnte man dann auf die Versuche LUMIÈRES hinweisen, nach denen Infusion von toten Blättern die Keimung von Samen verhindert.

Bei physiologischen Untersuchungen hat man, wenn die Wurzeln in Wasser wuchsen, eine Ausscheidung von organischen Säuren festgestellt (GOEBEL 1893 p. 211, CZAPEK 1896), dagegen eine solche nicht sicher nachweisen können, wenn der O_2 -Zutritt normal war (vgl. CZAPEK 1896 p. 323 und 1920 p. 526, KUNZE, STOKLASA & ERNEST 1908, ABERSON).

Eine einheitliche Erklärung der meisten angeführten Tatsachen scheint durch die Versuche von STOKLASA & ERNEST 1908 gegeben zu sein. Die Wurzeln aller untersuchten Pflanzen produzierten bei normalem O_2 -Zutritt nur CO_2 und möglicherweise etwas H_2 , dagegen in einer Atmosphäre von 6 % O_2 Ameisensäure, Azetaldehyd und Azeton, in einigen Fällen auch Essigsäure oder Oxalsäure; von diesen Stoffen sind besonders Ameisensäure und Azetaldehyd starke Pflanzengifte. Bei den Wurzeln von Gerste zeigten sich deutliche Krankheitssymptome, die von den Verf. als Selbstvergiftung aufgefasst werden.

Toxine im Boden sind in jüngster Zeit besonders in Amerika fleissig erforscht worden. Man hat solche teils in Moorwasser und Moorextrakt, teils in gewissen schlechten Böden gefunden. Die ungünstige Wirkung von Moorwasser auf nicht speziell angepasste Pflanzen wird ohne Zweifel teilweise direkt durch den O_2 -Mangel oder den Reichtum an CO_2 verursacht. Die Giftwirkung kann weniger ausgeprägt werden, wenn das Moorwasser vor dem Versuch in offenen Flaschen aufbewahrt wird (DACHNOWSKI 1908 p. 133—134), und künstliche Durchlüftung kann sie in gewissen Fällen teilweise oder vollständig aufheben (TRANSEAU, BERGMAN 1920). In vielen Fällen konnte jedoch die Giftwirkung nicht ausschliesslich durch den O_2 -Mangel, den CO_2 -Gehalt oder die Azidität des Moorwassers erklärt werden (LIVINGSTON 1905 b). Die Toxine wurden durch Kochen oder Eindampfen nicht zerstört oder verflüchtigt (LIVINGSTON 1905 b, RIGG, RIGG & THOMPSON), konnten aber durch Sorbentien wie feinverteilte Kohle weggenommen (DACHNOWSKI 1908) und durch Ammonsulfat ausgefällt werden (RIGG & THOMPSON), und blieben teilweise in Erde zurück, die als Filtrum gebraucht wurde (DACHNOWSKI 1909). Sie scheinen also reversible nichtflüchtige Kolloide zu sein. Das Vorkommen der Giftstoffe ist von den Amerikanern einstimmig mit der schlechten Durchlüftung in Zusammenhang gesetzt worden.

Bei den Untersuchungen des amerikanischen Bureau of soils ist ein Stoff besonders eingehend studiert worden, den man aus "schlecht drainierten, schlecht durchlüfteten, zu stark gepackten" u. s. w. Böden isolieren konnte. Die Substanz, die als Dihydroxystearinsäure identifiziert wurde, hat sich als ein heftiges Pflanzengift erwiesen. In Böden wie die genannten ist sie so oft gefunden worden, dass sie als "ein Hauptfaktor für die Unfruchtbarkeit solcher Böden angesehen werden muss" (SCHREINER & LATHROP). Da die Substanz sehr leicht oxydierbar ist, schwindet sie aus dem Boden, wenn für eine gute Durchlüftung gesorgt wird (SCHREINER & SKINNER).

Zusammenfassend kann man sagen, dass i. sehr grosse Differenzen in der

Toleranz verschiedener Pflanzen gegen O_2 -Mangel und CO_2 -Überschuss im Boden vorkommen; 2. dass ein O_2 -Defizit und ein CO_2 -Überschuss von weniger als ein paar % kaum je schädlich wirken dürfte, auch nicht bei langdauernder Einwirkung; 3. dass eine vollständige oder sehr starke, auch ziemlich kurzdauernde, Hemmung des Gasaustauschs zwischen den Wurzeln und der Atmosphäre bei nicht speziell angepassten Pflanzen verhängnisvoll wirken kann, dadurch dass die Wasseraufnahme durch die Wurzeln ausserordentlich erschwert wird; 4. dass eine mässigere Hemmung des Gasaustauschs, die akut nicht gefährlich ist, bei längerer Einwirkung eine Anhäufung von Giftstoffen herbeiführen kann, die schädlich wirkt; 5. dass es nach Allem wahrscheinlich ist, dass die Bodenventilation unter Umständen zu einem ökologischen Faktor werden kann.

KAP. 10. Die Bodenventilationsfrage in Land- und Waldbau und in der Ökologie.

In der Landwirtschaftsforschung hat besonders SORAUER die Bodenventilation als ökologischen Faktor betont. In der letzten, von GRÄBNER herausgegebenen Auflage von SORAUERS Handbuch der Pflanzenkrankheiten ist der Frage ein ganzer Abschnitt gewidmet. Gefahr für Schaden durch schlechte Durchlüftung liegt nach SORAUER-GRÄBNER vor: 1. in Tonböden; 2. in durch Überschwemmung etc. zugeschlammtem Boden; 3. in überschwemmtem Boden mit stillstehendem Wasser; 4. in versumpftem Boden; 5. in Rohhumus- und Ortsteinboden; 6. bei allzu tiefer Pflanzung und Saat. Als Vorbeugungs- und Abhilfemassregeln wird in erster Linie Drainierung genannt, dann Bodenbearbeitung und in gewissen Fällen Streudeckung des Bodens, um ein Zuschlammten der Oberfläche zu verhindern, endlich Zuführen von Kalk oder Gips. Gewisse Krankheiten werden als durch schlechte Bodendurchlüftung verursacht angesehen, z. B. der Wurzelbrand bei *Beta*, die »brusone«- Krankheit des Reises, »mal nero« der Edelkastanie und mehrere Krankheiten bei tropischen Gewächsen.

Man hat bei vergleichenden Versuchen bessere Resultate verzeichnet in lockerer Erde mit Krümelstruktur als in feiner und gepackter Erde, man hat einen günstigen Effekt der Einmischung von Scherben aus gebranntem Ton und von Sand, Holzkohle u. dgl. gefunden, und man hat dieses alles mit einer vermuteten verbesserten Durchlüftung in Zusammenhang gebracht (HUNTER, siehe CLEMENTS p. 23; HOWARD; HOWARD & HOWARD 1918), was zwar nicht ohne nähere Untersuchung behauptet werden kann. In Indien stellt sich LEATHER skeptisch dagegen, dass der günstige Effekt der Bodenbearbeitung mit einer verbesserten Bodendurchlüftung etwas zu tun hätte.

MANGIN erblickt die Ursache des schlechten Zustandes und der hohen Sterblichkeit in gewissen Strassenpflanzungen in Paris in dem experimentell nachgewiesenen O_2 -Mangel im Boden.

In Indien ist in jüngster Zeit das Bodenventilationsproblem viel beachtet und bearbeitet worden. Unabhängig von BRIZI in Italien zeigten HARRISON & AIYER, dass die Wurzeln des Reises bestimmte O_2 -Bedürfnisse haben, die im nassen und O_2 -armen Boden der Reisfelder durch die O_2 -Produktion von Algen gedeckt werden. (Ähnliche Resultate aus Japan; ONODERA). Seitdem

ist der Bodenventilation seitens der britisch-indischen landwirtschaftlichen Forscher immer mehr Aufmerksamkeit gewidmet worden, und eine Reihe von Schäden und Krankheiten an Kulturgewächsen wird ungenügender Bodenventilation zugeschrieben, z. B.: 1. eine Welkkrankheit von Javaindigo (*Indigofera arrecta*); 2. eine Blattfallkrankheit bei Pflirsichbäumen; 3. bei verschiedenen Gewächsen konnte man den Ertrag durch ein vernünftiges sparsames Bewässerungssystem und durch Drainierung steigern (1. HOWARD & HOWARD 1915 a; 2. HOWARD 1916; 3. HOWARD 1918, HOWARD & HOWARD 1919).

In der forstwissenschaftlichen Literatur finden sich zahlreiche Angaben, nach denen speziell auf Rohhumusböden schlechte Bodenventilation eine Rolle als hemmender Faktor spielen soll, so bei P. E. MÜLLER, HARTIG. Besonders hat GRÄBNER energisch die Ansicht vertreten, dass eine Rohhumusdecke durch Luftabschluss schädlich wirkt. (GRÄBNER 1901 p. 75 ff., 1906, 1909, WARMING-GRÄBNER 1918 pp. 111, 924, SORAUER-GRÄBNER 1921 pp. 196—213). Von den zahlreichen anderwärtigen Angaben in derselben Richtung nenne ich als Beispiele WAGNER 1912 pp. 104, 105, 108, LÜDI 1919 pp. 32—33, COVENTRY 1917 (zit. nach CLEMENTS p. 104) und HESSELMAN. Der letzte hat (1910 b) den schlechten Zuwachs der Waldbäume auf gewissen Torf- und Rohhumusböden in Norrland in Verbindung gebracht mit dem fast vollständigen O₂-Mangel im Grundwasser, den Analysen ergaben. Er sieht weiter die Ursache der mangelnden Nitrifikation in undrainierten Torfböden mit stillstehendem Wasser in dem O₂-Mangel; nach Drainierung setzt oft eine rege Nitrifikation ein, und wo das Wasser beweglich ist, kommt sie vor (1917 a). Dagegen glaubt HESSELMAN nicht, dass eine verbesserte Bodenventilation wesentlich den günstigen Effekt von Bodenbearbeitung auf Rohhumusböden bedingt (1917 b und c); das Resultat, das CLEMENTS (p. 104) aus der letztgenannten Abhandlung HESSELMANS herausliest, ist also nach der Auffassung des Verf. selbst darin nicht enthalten. ALBERT bestreitet auf Grund analytischer Tatsachen, dass eine Rohhumusdecke luftabschliessend wirkt.

Von forstlichen Angaben über ungünstige Wirkung schlechter Bodendurchlüftung, die nicht speziell Rohhumusböden betreffen, zitiere ich VONHAUSEN (CLEMENTS p. 99), HARTIG, ROSTRUP (1902 p. 82), LIVINGSTON (1905 a), GRAVES (CLEMENTS p. 103), FALCK (1918), HOLE & SINGH, HOLE (1918 und 1921), BORNEBUSCH. Das die Bodendurchlüftung herabsetzende Agens ist in allen diesen Beispielen allzugrosse Nässe des Bodens, und die Angaben betreffen vornehmlich schwere Böden.

In der nicht forstlich orientierten Ökologie finden sich auch manche Angaben über die Bodenventilation als Standortsfaktor. Die Eigentümlichkeiten der Vegetation der Moore werden jetzt allgemein direkt oder indirekt mit dem O₂-Mangel im stagnierenden humusreichen Wasser in Verbindung gebracht.

HOLE (1911) betrachtet die Bodenventilation als einen Faktor, der die Ausbreitung gewisser indischer Waldgräser mitbestimmt, CANNON & FREE denken sich, auf experimentelle Daten gestützt (siehe oben, Kap. 9), die Zonierung gewisser Pflanzengenossenschaften in amerikanischen Wüsten als durch verschiedene Bodendurchlüftung bedingt.

Zusammenfassung. Wenn auch leider nicht aus der obigen kurzen Literaturaufzählung, so geht doch aus den entsprechenden Originaldaten hervor, dass, wo wirklich gewichtige Gründe für die Annahme einer schädlichen Einwirkung

einer mangelhaften Bodendurchlüftung erbracht worden sind, es sich fast durchgehend um Böden handelt, die an zu starker Nässe leiden. Weiter liegen in gewissen Fällen entsprechende Erfahrungen vor für tonreiche Böden. Eine wichtige Ausnahme von dieser Regel scheinen nach vielen Aussprüchen in der Literatur zu beurteilen die Rohhumusböden zu bilden. Eine unserer wichtigsten Aufgaben im folgenden Teil wird die sein, diese Sache wenigstens für schwedische Verhältnisse möglichst aufzuklären.

TEIL IV. Die Bodenluft in schwedischen Waldböden.

KAP. II. Plan und Verlauf der Untersuchung.

Gegenstand der Untersuchung waren in erster Linie norrländische Rohhumuswaldböden. Die Untersuchung bildet eine logische Fortsetzung zu HESSELMANS (1910 b) Studien über den O_2 -Gehalt des Grundwassers in solchen Böden, und sie beabsichtigte in erster Linie, den Widerspruch zwischen den Angaben GRÄBNERS (1906, 1909 etc.) und ALBERTS zu klären. Die Untersuchungen wurden 1920 fast ausschliesslich nach Västerbotten verlegt; im Sommer 1921 wurden ausser hochnorrländischen Böden in Västerbotten und Norrbotten auch eine Anzahl südschwedischer Böden untersucht, vornehmlich Buchenrohhumus- und Heideböden.

Prinzipielle Schwierigkeiten. Die ökologische Bewertung der gefundenen O_2 - und CO_2 -Gehalte bietet dieselben prinzipiellen Schwierigkeiten wie jede ökologische Untersuchung, wo man mit Faktoren zu tun hat, die in gewissen in der Natur vorkommenden Intensitäten hemmend, schädlich oder gar letal wirken, und wo man gleichzeitig wie fast immer in der Ökologie zu einer Vergleichung von Stichproben hingewiesen ist. Ökologische Hemmungsfaktoren — wie z. B. Frost, extreme Trockenheit — wirken vornehmlich durch ihre Maximalintensitäten, durch ihre Intensitäten während gewisser empfindlicher und kritischer Perioden oder durch ihre relativen Maximalintensitäten in Verbindung mit einem Zeitfaktor. Man kann deshalb mit Durchschnittswerten wenig anfangen, und wenn man den Verlauf der zeitlichen Variation nach Stichproben beurteilen will, läuft man die Gefahr, dass man zufällig eben die bedeutsamen Extremp perioden verliert. Eine einwandfreie Behandlung des Problems hätte zunächst das Sammeln von langen, das ganze Jahr hindurch laufenden und Jahre umfassenden Analysenserien gefordert. Doch auch noch wenn solche vorlägen, würde die sichere ökologische Deutung der Ziffern sehr grosse Schwierigkeiten anderer Art bereiten, denn wir sind ja über die Toleranz der uns eben interessierenden Waldorganismen — Waldbäume, Bodenorganismen des Waldes — sehr mangelhaft, fast garnicht unterrichtet. Das Beste ist aber des Guten Feind, in der Ökologie nicht am wenigsten; wenn man überhaupt etwas wissen will, muss man sich oft mit halber Gewissheit begnügen und die Kühnheit haben, aus einem mangelhaften Material Schlüsse zu ziehen. So arbeitet vorläufig im grossen Ganzen die Ökologie überhaupt (vgl. über diese prinzipiellen Sachen weiter ROMELL 1920), und so habe ich auch das vorliegende Problem behandeln müssen. Ich habe mich also mit Stichproben begnügt und daraus die Schlüsse gezogen, die zu ziehen mir möglich erschien.

KAP. 12. Apparatur und Methodik.

Analysapparat, Fehlerlatitude. Als Analysapparat wurde KROGHS Mikroanalysapparat (KROGH 1908, 1915, 1920) gebraucht, der zwar keine grosse Genauigkeit der Bestimmungen erlaubt, aber andererseits entschiedene Vorteile für den vorliegenden Zweck darbot. Erstens ist die zu einer Analyse nötige Gasmenge sehr klein, und man braucht daher nur kleine Gasproben und kleine handliche Apparate zu ihrem Aufsammeln und zur Aufbewahrung. Dass die gebrauchte Gasmenge klein ist, ist schon prinzipiell ein Vorteil, denn je kleiner die gesogene Menge ist, je grösser ist die Aussicht, dass das Gas wirklich von der beabsichtigten Tiefe stammt; weiter aber zeigt es sich, dass gerade in den — wasserreichen — Böden, wo die Analysenziffern von besonders grossem Interesse waren, nur kleine Gasmengen erhalten werden konnten. Mit einem gewöhnlichen Gasanalysapparat wäre die Zusammensetzung der Bodenluft in solchen Böden überhaupt kaum zu erforschen gewesen.

Die zufälligen Fehler mit KROGHS Apparat betragen etwa 0,1 bis 0,2 % des Gesamtvolums. Für die CO_2 ist auch ein lästiger systematischer Fehler vorhanden, der für kleinere untersuchte Blasen 20 % oder mehr der CO_2 -Menge betragen kann, für möglichst grosse Blasen etwa 10 % der CO_2 -Menge ausmacht. Trotzdem wurde keine Korrektion für diesen Fehler eingeführt, da einerseits in trockenen Böden die CO_2 -Menge sich so klein hält, dass der systematische Fehler die Grösse des zufälligen Fehlers nicht übersteigt, andererseits in den nassen Böden, wo reichlich Wasser mit der Probe kam, der Trichter des Analysapparats mit diesem — mit der Gasprobe in Diffusionsgleichgewicht stehendem — Wasser ausgespült wurde, so dass diese Analysen fast ohne systematischen Fehler sind.

Aufsaugen und Aufbewahrung der Proben. Anfänglich wurden die Proben gleich nach der Probenahme im Walde analysiert, eine Vorrichtung für das Aufbewahren der Proben war also nicht nötig, und die ganze Apparatur (Fig. 9, p. [112]) war in einem $10 \times 24 \times 40$ cm grossen tragbaren Schränkchen untergebracht (Fig. 7 und 8, pp. [110] und [111]), das ein kleines 6 cm³ fassendes Hg-Gasometer, eine kleine Embryoschale als hydraulische Wanne und den Analysapparat nebst Zubehör beherbergt. Später wurden die Proben mit der in Fig. 10 (p. [113]) gezeigten Vorrichtung aufgesaugt und in einfachen kleinen Rezipienten nach SCHMIT-JENSEN aufbewahrt, und die Analysen wurden in einem Zimmer ausgeführt. Diese Arbeitsmethode erwies sich als viel praktischer.

Bodensonden. Die Proben wurden immer mit Hilfe von Bodensonden aus dem Boden aufgesogen. Drei verschiedene Sonden wurden gebraucht, von denen zwei in der Fig. 9 B und C gezeigt sind. (Dimensionen aus der Tiefenteilung ersichtlich; die Ziffern bedeuten dm) Die dritte war eine einfache Messingröhre mit 2 mm innerem Diam., deren Lumen wie bei der Sonde Fig. 9 B während des Eintreibens in den Boden durch eine Stahlnadel von entsprechendem Querschnitt erfüllt war.

Aspirierte Mengen. Bei der Probenahme wurde jedesmal gewaschen mit der fünffachen Luftmenge des gesamten Hohlraumvolumens der Sonde, des verbindenden Gummischlauchs und der Kapillaren des Saugapparats. Die aspirierte Menge Bodenluft betrug deshalb, obwohl nur einige mm³ für die Analyse

nötig sind, etwa 8 cm³, was immerhin ein kleines Volumen ist, verglichen mit dem von einigen anderen Forschern bei Bodenluftanalysen aspirierten.

Dichtigkeitsprüfung. Mehrere Forscher haben es schwierig gefunden, eine Beimischung von Luft von unbeabsichtigter Herkunft sicher zu vermeiden. Ich habe die Gefahr einer Beimischung atmosphärischer Luft von oben bei der von mir befolgten Arbeitsmethode wie folgt geprüft. Eine grosse runde Hermetikdose wurde mit der Öffnung nach unten auf den Boden gesetzt und die Ränder ein wenig in den Boden eingedrückt. Dann wurde die Bodensonde durch ein Loch in dem nach oben schauenden Boden der Dose eingeführt und bis in die gewünschte Tiefe in den Boden eingetrieben. Jetzt wurde mittels FeS und Säure H₂S in der Dose entwickelt. Nach einer guten Weile wurde in der gewöhnlichen Weise durch die Sonde aspiriert, aber so, dass das aspirierte Gas durch eine Röhre mit bleiessiggetränktem Fliesspapier streichen musste. Das Ergebnis gibt die Tab. XII, p. [116], wieder. Also in keinem Fall war die Bodenluft noch nach Aspirieren etwa der 8-fachen Menge der bei meinen gewöhnlichen Arbeiten aspirierten durch H₂S verunreinigt. Nur in einem Fall trat Schwärzung des Bleiessigpapiers ein, und zwar bei Saugen in einem *Russowii*-Polster, das so locker war, dass die Sonde nicht ohne Stütze aufrecht stehen wollte. Auch in diesem Fall trat nach Aspirieren von 60 cm³ Luft noch keine Schwärzung ein, sondern nur als ich, erstaunt über dieses Resultat, die Saugung mit dem Munde fortsetzte. Nach Saugung einiger vollen Atemzüge (also einiger Liter) begann die aspirierte Luft nach H₂S zu riechen, die Bleiessigröhre wurde aufs neue eingekoppelt und zeigte jetzt augenblickliche Schwärzung. Dies Resultat zeigt, dass bei der von mir befolgten Methode keine Beimischung von atmosphärischer Luft zu befürchten ist, wenn man sich mit genügend kleinen aspirierten Mengen begnügt; es zeigt aber gleichzeitig, dass man nicht ohne Gefahr sehr grosse Mengen aspirieren darf. Nach dem Ergebnis dieser Versuche wurde unbedenklich eine anfangs angewandte spezielle Dichtung mit in Wasser aufgerührtem Lehm weiterhin versäumt.

Definition der Tiefe. Man kann aber nicht aus den angeführten Versuchen schliessen, dass man unbedenklich so grosse Probenvolumen wie 60 cm³ verwenden kann, denn man muss ja auch Einmischung von Bodenluft aus anderen Tiefen als die beabsichtigte möglichst vermeiden. Es ist schwierig, eine Kontrolle darüber zu gewinnen, aus welchen Tiefen die aufgesogene Bodenluftprobe wirklich stammt. Nimmt man an, dass sie den Luftinhalt eines sphärischen Bodenvolums repräsentiert, das sein Zentrum bei der unteren Mündung der Sonde hat, so würden die bei meinen Arbeiten genommenen Luftmengen von 8 cm³ bei 25 % Luftgehalt des Bodens aus verschiedenen Tiefen einer 4 cm dicken Bodenschicht stammen, und die gemessenen und in der Tab. XIII angegebenen Tiefen würden mit einem Fehler von ± 2 cm behaftet sein. Wenn diese Voraussetzungen zutreffen, würde die Definition der Tiefe in meinen Bestimmungen jedenfalls in einem rationellen Verhältnis zu der Genauigkeit der Analysenmethode stehen wie zu der Genauigkeit, mit der die Tiefe bestimmt werden kann, was dagegen kaum z. B. von den Bestimmungen ALBERTS anzunehmen ist, da er ein Volumen von $\frac{1}{2}$ lit. sog und dann die CO₂ mit einer Genauigkeit von 0,01 % bestimmte.

Schwierigkeiten bei der Probenahme. Die Saugung gelang in nicht allzunassem Boden stets ohne Schwierigkeit, wenn man von kompakten Lehm-

böden absieht. In nassem Boden war dagegen die Probenahme schwierig, da die Sonde äusserst leicht durch mit dem Wasser mitgerissene Sandpartikel verstopft wurde. In rissfreiem kompaktem Lehm Boden kommt bei der Saugung nichts, weder Wasser noch Luft (vgl. die 2. Anmerkung zu der Tabelle XII p. [116] und die Ammerkungen unter K und L₁ in der Tab. XIII pp. [196] und [197]), so dass meine Analysen keine Auskunft geben können über die Zusammensetzung der Bodenluft in solchen Böden.

Die Analysenziffern bedeuten durchweg Volumprocente von trockener Luft

KAP. 13. Analysresultate. Allgemeine Züge der Variation.

Die Resultate der Analysen sind in der Tab. XIII (pp. [184]—[199]) zusammengestellt, die in Unterabteilungen nach verschiedenen Bodentypen eingeteilt ist. Die Zahlen in der Kolonne »Akzeptierte Werte« sind in der Regel Mittelwerte aus zwei oder mehreren Einzelbestimmungen; wie sie gebildet sind, geht in jedem Einzelfall aus den mitgeteilten Einzelwerten hervor. Betreffend die Lokalitäten, wo die Proben eingesammelt wurden, sind in der Tab. nur summarische Angaben gemacht. Für Einzelheiten wird auf die Lokalitätsbeschreibungen Teil V verwiesen. Das meiste von dem schwedischen Text und von den Abkürzungen in der Tab. ist am Ende der Tab. deutsch erklärt, und das übrige erhellt aus den Lokalitätsbeschreibungen. Die in der Tab. XIII zerstreuten Niederschlagsziffern finden sich zusammen mit einigen summarischen Temperaturdaten in der Tab. XIV [p. 200] zusammengeführt.

Variation mit verschiedener Witterung. Bei Durchsicht der Ziffern unter A in der Tabelle XIII wird man finden, dass die Proben von 1920 höhere O₂-Werte und keine ganz so hohen CO₂-Werte wie diejenigen von 1921 zeigen. Unter F in der Tab. findet man, dass die Frühlingsproben durchgehend bedeutend mehr O₂ und weniger CO₂ als die entsprechenden Herbstproben zeigen. Mehrere solche Verschiedenheiten können aus der Tab. herausgelesen werden, und sie werden alle einfach und einheitlich durch den verschiedenen Wassergehalt des Bodens zur Zeit der Probenahme erklärt. Die höchsten Werte von O₂-Defizit und CO₂-Überschuss habe ich ausnahmslos gefunden, wenn und wo der Boden so nass war, dass Wasser mit der Probe kam (vgl. die Bemerkungen über Wasser in der Tabelle; »vatten«, halbfett gedruckt, bedeutet Wasser mit der Probe. Wo keine solche Bemerkung sich vorfindet, bedeutet dies, dass die Probe trocken war). Der Faktor, der in erster Linie die Variationen in der Zusammensetzung der Bodenluft während der Vegetationsperiode bestimmt, ist nach allem zu urteilen der Wassergehalt des Bodens. Das stimmt gut mit den Erfahrungen RUSSELL & APLEYARDS (1915) und GAARDER & HAGEMIS überein.

Variation mit der Tiefe. Der Gang der Änderung in der Zusammensetzung der Bodenluft gegen die Tiefe zu kann sehr verschieden sein. Die Tabellen pp. [122] und [123] geben einige Beispiele, die erste Tab. für den Typus, der in normaldrainiertem Boden der gewöhnliche ist, der zweite von dem selteneren entgegengesetzten Typus. In den Zahlenpaaren bedeutet jedesmal die erste Zahl O₂-Defizit, die zweite CO₂-Gehalt, beides in Volumprozenten. In normaldrainiertem Waldboden ist also die Änderung mit der Tiefe in

grösseren Tiefen sehr langsam; die Bodenluft hat z. B. in 75 cm Tiefe sehr nahe dieselbe Zusammensetzung wie in 15 cm Tiefe. Umgekehrt kann in gewissen Böden die Änderung in grösserer Tiefe schneller sein als nahe der Oberfläche. Es kommt dies vor in Böden, die in dem untersuchten Tiefengebiet auffallend mehr nass gegen die Tiefe hin und gleichzeitig ungewöhnlich tief humushaltig sind. Das steht in gutem Einklang mit unseren Auseinandersetzungen oben Teil II (Kap. 7, Diffusion, und Kap. 8). Der Gang der Änderung in normaldrainiertem Waldboden deutet darauf hin, dass die Aktivität in den untersuchten Böden noch mehr gegen die Oberfläche gehäuft ist als nach der Keimzahlkurve WAKSMANS (Fig. 3, p. [58]), was wohl sicher auch in den betreffenden Böden mit messerscharfer Grenze zwischen der Rohhumusdecke und der sterilen Bleicherde der Fall ist.

O₂-Defizit und CO₂-Überschuss. Die Summe von O₂ und CO₂ ist in meinen Analysen um so niedriger, entfernt sich um so mehr von dem normalen Wert 21 %, je grösser das O₂-Defizit ist. Nun wirkt der systematische Fehler in der CO₂-Bestimmung dahin, ein scheinbares Defizit in der Summe hervorzurufen, dessen Grösse für einige verschiedene CO₂-Gehalte p. [125] sich ausgerechnet findet. Die gefundenen Defizite sind aber fast durchweg viel grösser, etwa 3 bis 10 mal, als das zu erwartende scheinbare Defizit. Die bedeutendsten gefundenen Defizite in der Summe sind p. [125] unten zusammengeführt. Die möglichen Ursachen dazu, dass der CO₂-Überschuss mit dem O₂-Defizit nicht gleichen Schritt hält, haben wir Kap. 8 diskutiert (Beteiligte Gase).

KAP. 14. Analysresultate, zusammengestellt für verschiedene Böden.

Da dieses Kapitel im wesentlichen ein Bericht in Worten über auch aus Tab. XIII ersichtliche Tatsachen enthält, kann von einem Referat abgesehen werden. Nur sei darauf hingewiesen, dass p. [132] und [133] sich die Resultate von zwei Analysenserien in Zusammenhang mitgeteilt finden, die in der Tab. XIII teilweise getrennt untergebracht sind. Die betreffenden Proben sind zwei Linien entlang genommen, die auf normaltrocknem Waldboden beginnen und in der Zone der beginnenden Versumpfung endigen (vgl. Lokalitätsbeschreibung Nr 2) und illustrieren die Zunahme der Werte des O₂-Defizits und des CO₂-Überschusses bei Übergang von dem trocknen zum feuchteren Boden. Auch sei auf die Tabelle p. [146] verwiesen, die übersichtlich die Differenzen zwischen einigen verschiedenen Arten von Lokalitäten darstellt. Die Buchstaben A bis G verweisen auf die entsprechenden Abteilungen der Tab. XIII. In der Übersicht sind nur Analysenwerte für die Tiefen 10–20 cm berücksichtigt, damit die Zahlen möglichst vergleichbar seien. Die Zahlen bedeuten die Anzahl von Proben, die die angegebenen O₂-Gehalte gezeigt haben.

Noch sei an dieser Stelle auf die auffallenden Analysresultate hingewiesen, die die Proben 143–146 (siehe Tab. XIII M) ergaben, indem sie in der Moräne unter etwa 1 m mächtigem wassergesättigtem Torf, wo freier O₂ praktisch fehlt, einen beträchtlichen O₂-Gehalt in der Bodenluft zeigten (7 bis 14,5 %). Dies Resultat ist zwar ökologisch kaum von irgend einer Bedeutung, ist aber interessant aus anderen Gesichtspunkten. Da der Abstand

von den betreffenden Punkten zu der nächsten denkbaren O_2 -Quelle (d. h. der kleinste Abstand zur Grenze gegen die »gefährdete« Zone, wo der nasse Torf nicht zusammenhängend ist) etwa 30 m beträgt, zeigt der beträchtliche O_2 -Gehalt der Proben eine äusserst minimale Oxydation in der betreffenden Bodenschicht an und beweist zugleich, dass das O_2 -freie (und noch dazu humushaltige) Torfwasser, wenigstens während des Sommers, nicht in beträchtlichem Umfang nach unten, in die Moräne hinein, sich bewegt, auch nicht wenn die Moräne, wie in unserem Fall, viel wasserärmer ist als der wasserdurchtränkte Torf. Diese Schlussfolgerung ist von einem gewissen hydrologischen Interesse.

KAP. 15. Forstökologische Diskussion der Analysresultate.

1. **Rohhumusböden in Norrland.** Da die Analysen in normaltrockenen (nicht versumpften) Rohhumusböden fast durchweg eine sehr gute Durchlüftung ergeben haben (die Variation liegt ungefähr innerhalb derselben Grenzen wie in Ackerböden), so kann wenigstens für Norrland die Anschauung GRÄBNERS nicht richtig sein, nach der eine Rohhumusdecke an sich ein gefährliches Hindernis für eine gute Durchlüftung des Bodens bedeuten soll. Die Untersuchungen betreffen auch Böden mit strengem, ungünstigem Rohhumus, wo die Fichten fast gar keinen Zuwachs zeigen. In einem Bestand mit milderem Rohhumus und Kräutervegetation wurde ein grösseres O_2 -Defizit gefunden als gleichzeitig im schlechten Rohhumuswald. Nach meinen Analysresultaten kann somit die ausgesprochene Schlechtigkeit gewisser norrländischer Rohhumusformen kaum auf mangelnder Bodendurchlüftung beruhen, und der günstige Effekt einer Bodenbearbeitung auf solchem Boden kann dann wahrscheinlich auch nicht durch eine verbesserte Bodendurchlüftung bedingt sein. Man wird wohl statt dessen zunächst auf eine auf die Organismen im Rohhumus günstige Wirkung von vergrössertem Elektrolytgehalt infolge Mischung oder Überdeckung des Rohhumus mit Mineralerde denken müssen, wie von HESSELMAN (1917 a) vorgeschlagen.

In versumpftem Rohhumusboden und in Rohhumusboden, der sich der Versumpfung nähert, haben dagegen viele Analysen ganz bedeutende Werte von O_2 -Defizit ergeben, bis beinahe vollständigen O_2 -Mangel. Die Variation ist jedoch sehr gross von Punkt zu Punkt, man bekommt hin und wieder auch Analysenwerte, die fast normale O_2 -Gehalte ergeben. Dennoch, und obgleich sich im Einzelnen kein Parallelismus zwischen dem besseren oder schlechteren Zustand des Waldes und der Zusammensetzung der Bodenluft nachweisen liess, ist wohl der hochgradige O_2 -Mangel an zahlreichen Punkten in diesen Böden als ein Faktor zu betrachten, der den schlechten Zustand des Waldes auf solchem Boden wenigstens mitbedingt.

2. **Kiefernheiden.** Auch für diese trockenen Waldtypen, die besonders auf Sand vorkommen, hat man mangelnde Bodendurchlüftung als eine Ursache des schlechten Zuwachses der Bäume und der schlechten Verjüngung angesehen (vgl. CLEMENTS, p. 104). Meine Analysen zeigen aber lauter O_2 -Werte, die über 20 % liegen, und liefern dieser Anschauung somit keine Stütze. Die Ursache der günstigen Wirkung von Bodenbearbeitung in

Kiefernheiden muss höchstwahrscheinlich anderswo als in einer dadurch verbesserten Bodenventilation gesucht werden (vgl. oben unter 1.).

3. **Ortsteinböden.** Auch tief in einer steinharten Ortsteinschicht haben die Analysen O_2 -Gehalte von etwa 20 % ergeben, und GRÄBNERS Vorstellung, dass der Ortstein »fast den letzten Rest des dorthin gelangenden Sauerstoffs für seine eigene Oxydation verbraucht« (SORAUER-GRÄBNER) ist also wenigstens nicht allgemein wahr. Die genannten Analysen betreffen einen normalen (wenn auch ungewöhnlich prachtvoll ausgebildeten) norrländischen allochthonen Eisenortstein. Ein paar Analysen aus Moräne mit Anfängen zu Humusortsteinbildung auf fast versumpftem Boden ergaben niedrigere O_2 -Gehalte, bis zu etwa 16 % hinab, was vielleicht darauf deuten könnte, dass die genannte Vorstellung GRÄBNERS für Böden mit Humusortstein doch einer Wirklichkeit entspricht.

4. **Heiderohhumus.** In schlechten, schwerkultivierten Heiden konnte sich ein bedeutender O_2 -Mangel vorfinden, trat aber nicht in allen auf, nur in den dem versumpften Typus angehörigen oder sich diesem nähernden. Wenn von diesen abgesehen wird, war in meinem Material der O_2 -Mangel wie der CO_2 -Gehalt grösser in der besseren Heide als gleichzeitig in der schlechteren. Auch nicht für die Heideböden scheint also im allgemeinen die Bodendurchlüftung als qualitätsscheidender Faktor in Frage zu kommen. Das stimmt gut überein mit den an den schwedischen Heidepflanzungen gesammelten Erfahrungen sowie mit den Erfahrungen und Versuchen der dänischen Forscher, nach denen die Heidefrage ein Stickstoffproblem sei, wie nach der Ansicht HESSELMANS das Problem der Kiefernheiden Norrlands, dagegen wäre die Gesamtheit dieser Erfahrungen schwer zu verstehen, falls es sich wesentlich um ein Bodendurchlüftungsproblem handelte.

5. **Buchenrohhumus.** Die Untersuchungen umfassen u. A. eine Lokalität mit ein paar dm mächtigem Buchenrohhumus schlechtesten Sorte. Trotzdem konnte ich (auch im Herbst, nach einem sehr feuchten August) nur ganz normale O_2 - und CO_2 -Werte finden. Das schwere Hindernis, das ein solcher Rohhumus für die Verjüngung bedeutet, ist also kaum durch schlechte Bodendurchlüftung bedingt.

6. **Moore und Sümpfe.** Von meinen Analysen betreffen nur einige mehr zufällig und nebenbei ausgeführte Moore und Sümpfe, weil die Rhizosphäre für die Sumpfgewächse wenigstens während langer Perioden des Jahres das Grundwasser ist, das mit der von mir angewandten Methode der Analyse nicht — wenigstens nicht direkt — zugänglich ist. Man weiss aber aus anderen Arbeiten, dass das Moor- und vielfach auch das Sumpfwasser normal sehr O_2 -arm ist. (Zahlreiche Wasseranalysen von Moorwasser nach WINKLER, die vieles von Interesse bieten, bringt MALMSTRÖM). Um so auffallender waren die hohen O_2 -Werte, die meine Analysen oberhalb des Grundwasserniveaus in Moortorf ergaben. Ich erkläre mir diese auffallende Tatsache so, dass im unzersetzten *Sphagnum*-Torf nicht so leicht wie z. B. in nassem Rohhumus durch Wasser abgeschlossene luftgefüllte Hohlräume entstehen oder sich erhalten. Die Lufträume haben eher die Form von lotrechten Röhren, die oben mit der Atmosphäre kommunizieren, und in denen eine normale Diffusion vor sich geht. Deswegen braucht natürlich nicht die Durchlüftung in den mit Wasser vollgesogenen Basalresten der Sphagnen normal zu sein,

denn die O_2 -Zufuhr nach dem Inneren der Wassermassen wird durch die langsame O_2 -Aufnahme der Wasseroberflächen und durch die langsame Diffusion im Wasser geregelt, nicht durch die schnelle Diffusion in den Lufträumen. Dass immerhin an zahlreichen Punkten im *Sphagnum*-Torf oberhalb des Grundwasserniveaus sehr gute Durchlüftung besteht, ist zwar ökologisch von untergeordnetem direktem Interesse, denn während der Perioden mit höherem Grundwasserstand können die Moorpflanzen ohnehin nicht fortleben, falls sie nicht den O_2 -Mangel im Grundwasser ertragen. Die Tatsache ist aber interessant, indem sie zeigt, wie das Grundwasserniveau in den Mooren als eine scharfe Grenze zwischen einem Gebiet mit fast vollständigem O_2 -Mangel und einem Gebiet mit sehr guter Durchlüftung an zahlreichen Punkten zu betrachten ist, was zum Verständnis der grossen Verschiedenheit in den Konservierungsbedingungen für Fossilien in den Mooren oberhalb und unterhalb des Grundwasserniveaus beiträgt (vgl. MALMSTRÖM).

Einigermassen ähnlich wie in den Mooren scheinen die Verhältnisse in Sümpfen liegen zu können, nach ein paar Analysen zu urteilen, die von Laubbrüchen stammen (vgl. meine Analysenwerte von einem zufällig ausgetrockneten Erlenbruch auf Hallands Väderö mit den Analysenziffern BORNEBUSCHS).

7. Lehm Böden. In kompaktem rissfreiem Lehm ist es, wie schon oben genannt, unmöglich Luft zu saugen, und über die Zusammensetzung der im kompakten Lehm enthaltenen Luft geben meine Analysen daher keine Auskunft. Die zwei Analysen unter L. in der Tab. XIII zeigen aber, dass in rissigem Lehm die in den Rissen stehende Luft beinahe die Zusammensetzung der Atmosphäre hat. Das hat natürlich nichts Überraschendes, es ist eben, was man erwarten kann. Die Analysen wurden nicht weiter ausgedehnt, da es mir unnötig schien, durch Gasanalyse zu konstatieren, dass der Lehm rissig ist. Das kann bequemer direkt wahrgenommen werden. Die direkte Beobachtung in den betreffenden mit Mischwald bedeckten Lehm Böden (»Lerbrännor») in Norrland zeigte, dass der Lehm Boden unter der Moos- und dünnen Rohhumusdecke öfters rissig war, und dass in diesen Rissen Wurzeln verliefen. Dies scheint anzudeuten, dass die Risse relativ permanenter Natur sind. Dass sie sich auch über die nassen Perioden erhalten können, kann vielleicht durch die schützende Wirkung der Moos- und Rohhumusdecke gegen Zuschlammung erklärt werden (vgl. SORAUER-GRÄBNER über Streudeckung zum Schutz gegen Zuschlammung der Oberfläche und JOLYET p. 348 über entsprechende Wirkung der Waldstreu). Die Rohhumusdecke würde also in diesem Fall die Bodendurchlüftung sichern, anstatt sie zu verhindern.

8. Die CO_2 -Gehalte. Wenn bei der ökologischen Diskussion nur von den O_2 -Gehalten, nicht von den CO_2 -Gehalten gesprochen worden ist, so kommt das daher, dass bei einer solchen vergleichenden Methode, die wir anzuwenden genötigt worden sind, diese beiden Sachen überhaupt nicht auseinandergehalten werden können, da sie zusammen variieren, wenn auch die CO_2 -Überschüsse gegen die O_2 -Defizite zurückbleiben. Wie viel von der schädlichen Wirkung schlechter Bodendurchlüftung dem O_2 -Defizit, wie viel dem CO_2 -Überschuss zuzuschreiben ist, muss durch rein physiologische Untersuchungen geklärt werden.

KAP. 16. Rückblick. Versuch einiger forstlich anwendbaren Schlussfolgerungen.

Wenn, aus oben dargelegten Gründen, die ökologische Diskussion der Analysziffern fast auf jedem Punkt nur tastend sein kann und man bei fast allen Einzelfragen Fragezeichen setzen muss, so dürfte doch soviel sicher sein, dass ein hochgradiger O_2 -Mangel im Boden für unsere Waldbäume ein ungünstiger Faktor ist.

Ein Resultat der Untersuchungen ist sehr einheitlich, nämlich dass die Gefahr für schlechte Durchlüftung des Bodens vor allem von Wasser im Boden kommt. Hochgradigen O_2 -Mangel habe ich nur in nassen Böden gefunden, und umgekehrt habe ich im allgemeinen die Regel gültig gefunden, dass, wenn während der Vegetationsperiode der Boden so nass ist, dass Wasser mit der Probe kommt, ein aussergewöhnlich grosser O_2 -Mangel in der Bodenluft vorhanden ist. Die Ausnahmen von dieser Regel gelten teils stark geneigte Böden, mit stark beweglichem Wasser, wo trotz Wasserreichtum des Bodens die Bodenluft normal O_2 -reich sein kann, teils das Gebiet oberhalb des Grundwasserniveaus in Mooren, wo besondere Verhältnisse bestehen, die im vorigen Kapitel diskutiert wurden.

In Kap. 3 haben wir auf die ziemlich selbstverständliche Tatsache hingewiesen, dass die Werte von O_2 -Defizit im Boden teils durch die Intensität der O_2 -verbrauchenden Prozesse, teils durch die Lebhaftigkeit des Gasaustauschs bestimmt werden. Die ersteren hängen u. A. stark von der Temperatur ab, und so ist es erklärlich, dass man die Maxima von O_2 -Mangel nicht im Winter bei nassem Boden, sondern im wärmeren Teil des Jahres gefunden hat (vgl. Kap. 2). Während der Vegetationsperiode wird der Betrag von O_2 -Defizit im Boden wesentlich durch den Wassergehalt des Bodens bestimmt. Was Verschiedenheiten zwischen verschiedenen Böden betreffend den Gasaustausch angeht, hat unsere Auseinandersetzung in Teil II gezeigt, dass für natürliche Böden, insbesondere für Waldböden, die Korngrösse eine ganz untergeordnete Rolle spielt, sofern diese nicht wie in kompakten Leimböden eine gewisse Minimalgrösse untersteigt. Das Entscheidende ist das luftgefüllte Porenvolum, der Luftgehalt des Bodens, das in erster Linie durch den Wassergehalt des Bodens und innerhalb engerer Grenzen (n. b. dass es sich um natürliche Böden handelt) durch dessen Packungsgrad bestimmt wird.

Es ist eine verbreitete Annahme, dass eine Rohhumusdecke an sich ein gefährliches Hindernis für eine gute Bodendurchlüftung ist. Dies hat sich für sämtliche untersuchten schwedischen Rohhumusformen als falsch herausgestellt. Dagegen ist, wie nicht anders zu erwarten, eine nasse Rohhumusdecke hinderlich für die Durchlüftung.

Der intime Zusammenhang, den wir zwischen der Nässe des Bodens und der Durchlüftung gefunden haben, ermöglicht ein Urteilen nach blosser Inspektion darüber, ob eine schlechte Bodendurchlüftung zu befürchten ist oder nicht.

In normaldrainiertem Waldboden auf Sand, Moräne etc. dürfte in Schweden nie eine Gefahr für schlechte Bodendurchlüftung vorliegen, wie auch

sonst der Boden beschaffen sein mag. In versumpften Böden aller Art hat man dagegen Anlass, eine schlechte Bodendurchlüftung zu befürchten.

Schon SAUSSURE sah ein, dass Überschwemmung des Wurzelsystems einer Pflanze nicht direkt durch den allzu grossen Wasserreichtum schädlich wirkt, sondern infolge des eintretenden O_2 -Mangels, und es ist seit lange klar, dass Drainierung physiologisch gesehen eine Massnahme zur Erleichterung der O_2 -Zufuhr ist, während das Wegschaffen des Wassers an sich bedeutungslos ist. Nach unseren Resultaten ist in gewisser Ausdehnung auch die Umkehrung dieses Satzes wahr: Die einzige für Waldböden verwendbare Methode, den Wurzeln und Bodenorganismen mehr O_2 zu verschaffen, wenn sie Mangel daran leiden, ist Drainierung. Wegschaffen der Moos- und Rohhumusdecke ist dagegen höchstwahrscheinlich vom Gesichtspunkt der Bodenventilation unnütze Mühe, ja in gewissen Fällen wirkt vielleicht die Rohhumusdecke direkt als eine Garantie für die Erhaltung einer guten Bodendurchlüftung (vgl. Kap. 15:7). Auch Bodenbearbeitung im Walde dürfte als Massnahme zur Verbesserung der Bodenventilation unnütz oder wenigstens unnötig sein, eine wie grosse Bedeutung diese Massnahme aus anderen Gründen haben mag.

TEIL V. Lokalitätsbeschreibungen.

(Bem.: Die Provinznamenabkürzungen finden sich am Ende der Tab. XIII, p. [198], erklärt; da für Detailangaben über Vegetation und Bodenprofil auf den schwedischen Text verwiesen werden muss, sind die in Teil V im schwedischen Text verwandten schwedischen Pflanzennamen nebst einigen anderen Wörtern am Ende des untenstehenden deutschen Texts erklärt; Kspl bedeutet Kirchspiel, Pr. Probe, P. Punkt).

1. Vb, Kspl Degerfors. Pr. 30 in für die Gegend hohem gutem moosreichem Fichtenwald, eingemischt mit Kiefer, Grauerle, Birke und Eberesche. In der Bodenvegetation ausser Moosen ziemlich viele Kräuter. Pr. 124—129 in einer höher gelegenen Partie des Waldes mit Restbestand aus ziemlich schwachwüchsigen Fichten, ein wenig Kiefer und Birke. Mehr Zwergsträucher vorhanden, weniger Kräuter.

2. Vb, Kspl Degerfors. Ein kleiner flacher Äszug aus Moräne ragt zungenähnlich zwischen Moor- und versumpften Böden hinein. Die Lokalität ist leicht auf der Karte MALMSTRÖMS über Degerö Stormyr kenntlich mit Hilfe einer auf der Moränenzunge gelegenen Waldhütte (»skogskoja«), die auf der Karte (nahe dem gestrichelten Rektangel, der das Versuchsfeld Kulbäcksliden auszeichnet) eingezeichnet ist. Ein grosser Teil der Proben ist nahe der Hütte und innerhalb des Versuchsfeldes genommen. Der Boden ist dort auch an den trockeneren Partien mit strengem ungünstigem Rohhumus bedeckt, jedoch nicht von der allerschlechtesten Sorte. In meiner Karte Fig. 11 (siehe Teil V in dem schwed. Text, p. [165]) ist die Lage der Probenpunkte innerhalb des Versuchsfeldes angegeben. Eine Probenreihe, Pr. 111—123, ist, wie man sieht, einer Linie entlang genommen, die vom trockenen Boden nahe der Hütte bis in die »gefährdete« Zone geht. Der Wald ist hier schlecht, auch auf dem trockenen Boden, und dann immer schlechter, unwüchsiger und mehr von Flechten befallen, je weiter hinab man kommt. Die Zusammensetzung der Bodenvegetation auf dem trockenen Boden (etwa wo die Pr. 51—53 genommen wurden) erhellt aus der Raunkjær-Analyse p. [163]. Eine andere Profillinie, der vorigen annähernd parallel, 300 m weiter gegen NW, bilden die Punkte, wo die Pr. 130—142 genommen wurden. Der Wald ist hier besser, auch auf dem nassen Boden. Die Beobachtungen über das Bodenprofil zeigten an den P. 1 und 2 (Pr. 130—131 bzw. 136—137) normales Podsolprofil, am P. 3 (Pr. 132—133) ein wenig, an den P. 4, 4 a und 5 (Pr. 134, 135, 138—142) stark versumpftes Profil (Humuspodsol).

Pr. 46 stammt von einem Kahlschlag oben auf dem kleinen Äszug.

In dem teilweise auf der Karte Fig. 11 sichtbaren Kiefernmoor (Zwergstrauchmoor mit *Betula nana*, *Carex globularis* etc.) und im angrenzenden Fichtensumpfwald wurden einige Pr. (143—146) in der Moräne unter mächtigem Torf genommen. (Die Mächtigkeit des Torfs ist in der Tab. XIII angegeben).

3. Nb, Kspl Piteå, Versuchsfeld der forstlichen Versuchsanstalt (siehe die Karte bei HESSELMAN 1909 p. 33, abgedruckt in RAMANN 1911 p. 211, jedoch mit verwechselten Bezeichnungen). Das Feld ist jetzt drainiert und merklich trockener, der Rohhumus ist aber so dick wie vorher. Der Wald — ein moosreicher Fichtenwald mit reichlich Heidelbeere — auch an den trockenen Stellen schlecht, schwachwüchsig, die Bäume von Flechten befallen (Phot. bei HESSELMAN 1910 b p. 102). Die Pr. sind in Abständen von 10 Schritten einer Linie entlang genommen, die die Bucht überquert, die die sog. »gefährdete« Zone (Fichtenwald mit einz. *Sphagnum*-Flecken) gegen SO in den nichtversumpften Wald hinein in der Gegend W—SW vom Brunnen V aus macht. Der letzte P. 5 liegt 4 Schritte vom Brunnen V. An den P. 1 und 2 Andeutung zu Ortsteinbildung in der Moräne (Humusortstein).

4. Vb, Kspl Degerfors. Schwachwüchsiger, flechtenbefallener Fichtenwald auf geneigtem, etwas feuchtem Moränenboden. Dünnere, mildere, unten ziemlich mullartiger Rohhumus. Kräuterreiche Bodenflora, siehe Analyse p. [166].

5. Vb, Kspl Degerfors. Seichtes Bachtälchen, wo die Fichte besser wächst als in der Umgebung. Dünnere, teilweise mullartige Rohhumus auf Moräne. Im Talboden Grauerle, Fichte und Birke mit kräuterreicher Bodenvegetation. Bodenvegetation im Fichtenwald auf dem seichten Abhang, siehe Analyse p. [167].

6. Vb, Kspl Degerfors. Schöner gutwüchsiger mittelalttriger Fichtenwald mit Espe und Birke auf einem Moränenabhang. Auf dem Boden Kräuter und totes Laub. Im August 1921 war der Boden so wasserreich, dass das Wasser hie und da in Wasserpflützen über der Oberfläche stand und es unmöglich war, Bodenluftproben zu nehmen.

7. Vb, Kspl Degerfors. Gutwüchsiger Mischwald aus Kiefer, Fichte und Grauerle auf sehr feinem Sand (Mehlsand, »mjäla«). Der Boden von Wurzeln durchzogen und locker, nur Andeutungen zu Rohhumus, üppige kräuterreiche Bodenvegetation.

8. Vb, Kspl Degerfors. Für die Gegend sehr schöner, hoher, gutwüchsiger Fichtenbestand auf einem stark geneigten Abhang (moränenbedecktes Urgestein). Kräuterreiche Bodenvegetation, siehe Analyse p. [168].

9. Nb, Kspl Piteå. Gutwüchsiger Mischbestand aus Kiefer, Fichte, Grauerle, Birke und Eberesche auf einem stark geneigten Abhang auf Sand.

10. Nb, Kspl Piteå. Gutwüchsiger moosreicher-kräuterreicher Fichtenwald mit Birkeneinmischung in einem mässig geneigten Abhang auf Moräne (Phot. bei HESSELMAN 1910 b p. 103). Reichlich Kräuter, einzelne *Sphagnum*-Flecken. Braunerdeähnliches Profil.

11. Vb, Kspl Degerfors. Guter moosreicher Kiefernwald auf Sand, Bodendecke fast nur *Hyloc. parietinum* und Preisselbeere.

12. Vb, Kspl Degerfors. Kiefernheide auf einer ebenen Alluvialsandterrasse nahe dem Fluss Vindelälven. Spontaner Kiefernbestand (jetzt 983 Stämme pro Hektar, Mittelhöhe 13,2 m, Mitteldiam, 14,2 cm bei 75 Jahren). Bodenvegetationsanalyse p. [169].

13. Vb, Kspl Degerfors. Kiefernheide von moosreicherem Typus auf Mehlsand. Aufrierungsboden. Bodenvegetationsanalyse p. [169].

14. Nb, Kspl Piteå. Schütterer, schwerverjüngte Kiefernheide auf Sand (Beschr. u. Abb. bei HESSELMAN 1910 a p. 31 ff. mit Figg. 1 und 4). Pr. 168 wurde in einem anderen Teil der Heide, an einem ausgesuchten Punkt mit wenigstens auf einem Kreis von 10 m Diameter zusammenhängendem, kräftigem Ortstein genommen.

15. Nb, Långträsk. Kiefernheide auf Moräne; Bodendecke, siehe schw. Text.

16. Vb, Kspl Degerfors. Moosreicher Nadelmischwald von Preisselbeertypus auf Boden mit mächtigem Ortstein; die Lokalität bei TAMM beschrieben (p. 212—213, 294 und Taf. 4).

17. Nb, Kspl Piteå. Lokalität mit mächtigem allochthonem Ortstein, beschrieben von TAMM (p. 217 ff., 295, mit Karte Fig. 21 p. 218). Von den untersuchten P. liegen 4 etwa in den Ecken eines Quadrats, dessen Ostseite von dem Nordpfeil in (neben) TAMMS Karte gebildet wird, und der fünfte etwas östlich von dem südöstlichen dieser Punkte.

18. Nb, Kspl Piteå. Ähnliche Lokalität wie die vorige, mit weicherem Ortstein.

19. Hl, Kspl Växorp. Heide auf einer kleinen, seichten, nicht meterhohen Anhöhe bei einem *Eriophorum-vaginatum*-Moor; wird durch letzteres feucht erhalten. Sehr schlechte gepflanzte Fichten, von gelblicher Farbe, einige dm bei einem Alter von 35 Jahren. Mineralerde grau bis schwarz gefärbt und mit Rostflammen. In der Bodenvegetation ausser dem Heidekraut *Eriophorum alpinum* etc.

20. Hl, Kspl Växorp. Abhang mit fichtenbepflanzter Heide. Fichten meist sehr schlecht, gelblich, nicht 1 m bei 35 Jahren erreichend, fleckenweise jedoch besser. P. 1—5 in einer Linie, P. 1 (Pr. 71, 202, 203) in einer Gruppe mit besseren Fichten, P. 2—5 unter schlechten. Die P. 6 und 7 in je einer Gruppe mit guten Fichten nahe einem Moor, das den Abhang unten ablöst.

21. Hl, Kspl Växorp. Abhang mit Heide, bepflanzt mit Fichten, die alle bei 35 Jahren etwa so hoch wie das Heidekraut sind. In der Bodenvegetation ausser dem Heidekraut *Erica*, *Eriophorum alpinum* etc. Mineralerde tief schwarzflammig.

22. Vg, Kspl Sättila. Heide mit *Ledum* etc.; hie und da spontane Wacholder, Kiefern und schlechte Fichten.

23. Hl, Kspl Växorp. Flechtenreiche Heide, jedoch von etwas besserem Typus (ein wenig Wacholder), mit Bergkiefer bepflanzt.

24. Hl, Kspl Växorp. Nahe der vorigen Lokalität, guter 31-jähriger Kulturfichtenwald auf günstigem Heideboden. Der nach Durchforstung 1918 zurückgelassene Bestand (7093 Stämme pro Hektar) hat eine Mittelhöhe von 7 m.

25. Hl, Kspl Växorp. Ähnliche Lokalität, noch dichter Bestand von etwa derselben Höhe bei demselben Alter.

26. Sk, Kspl Dalby. Hochproduktiver kultivierter Fichtenbestand auf altem Heideboden.

27. Hl, Kspl Växorp. Alter, schlechter, schwachwüchsiger Buchenwald. Gipfeldürre, schwierige Verjüngung. Buchenrohhumus 15—30 cm, blätterig, zäh, unten ziemlich feucht. Heidelbeere dominierend in der Bodenvegetation.

28. Sk, Insel Hallands Väderö. Rohhumusbuchenwald mit schlechten Buchen und flechtenbefallenen Birken, 5 cm Rohhumus, Heidelbeere und Heidekraut etc.

29. Sk, Hallands Väderö. Buchenwald von besserem Typus, jedoch nicht wirklicher Mullboden. In derselben Lokalität wurde die CO₂-Abgabe des Bodens bestimmt, vgl. Kap. 5.

30. Sk, Hallands Väderö. Hainartige Laubwaldgesellschaft auf Boden von grobem Sand und Gries. Kein Rohhumus.
31. Sk, Kspl Dalby. P. 1—4 in Mischwald von edlen Laubbäumen auf lehmigen Mullboden, P. 5 in Buchenwald auf demselben Boden.
32. Sk, Övedskloster. Gutgepflegter mittelalttriger hochproduktiver Buchenwald auf bestem Mullboden (*Allium ursinum* etc.). Sehr grosse Trockenheit bei der Probenahme, die Kräuter der Bodenvegetation halbwelk, Buchenlaub fiel vorzeitig ab.
33. Hl, Kspl Våxtorp. Buchenwald auf gutem Buchenwaldboden, kein oder sehr schwacher Rohhumus, Braunerdeprofil; Verjüngung in Lichtungen gut ohne Bodenbearbeitung. Bei P. 3 jedoch deutlicher Rohhumus und Podsolprofil.
34. Vb, Kspl Degerfors. Birkenlaubbruch bei einem Bach auf Lehm Boden; der Boden vielfach hohl, wie unterminiert, so bei P. 2.
35. Sk, Hallands Väderö. Erlenbruch, Boden nackt oder mit schütterer Sumfpflanzenvegetation. Ungewöhnliche Trockenheit bei der Probenahme.
36. Mischwald aus meist Kiefer auf flachem Lehm Boden.
37. Vb, Kspl Degerfors. Der Moorkomplex Degerö Stormyr ist eingehend bei MALMSTRÖM geschildert. Pr. 11, 55 und 16 aus *fuscum*-Polstern u. dgl. in einer waldlosen Partie, 37—38 aus einem Zwergstrauchmoor mit schlechten Kiefern.
38. Vb, Kspl Degerfors. Einige verschiedene Kulturböden, zum Vergleich untersucht. Pr. 19 aus einem Rasen auf feinem Sand ganz nahe dem Misthaufen eines Bauernhofes, Pr. 23 aus einem Kartoffelfeld auf Alluvialsand, Pr. 29 aus einem viel geweideten und vom Vieh getretenen, mit kurzem Gras bewachsenen Abhang, Pr. 147—148 aus einer künstlichen Wiese. Pr. 149—150 in einem Haferfeld.

Erklärung der im Teil V der schwedischen Text verwandten schwedischen Pflanzennamen und einiger anderer Wörter.

Älggräs = <i>Filipendula ulmaria</i> .	Klotstarr = <i>Carex globularis</i> .
Alm = <i>Ulmus montana</i> .	Konvalje = <i>Convallaria majalis</i> .
Ångskovall = <i>Melampyrum pratense</i> .	Kornfibla = <i>Scorzonera humilis</i> .
Ärenpris = <i>Veronica officinalis</i> .	Kovall = <i>Melampyrum</i> .
Ask = <i>Fraxinus excelsior</i> .	Kräkris = <i>Empetrum nigrum</i> .
Asp = <i>Populus tremula</i> .	Kruståtel = <i>Aira flexuosa</i> .
Benved = <i>Euonymus europæa</i> .	Lingon = <i>Vaccinium vitis idæa</i> .
Bingel = <i>Mercurialis</i> .	Linnéa = <i>Linnæa borealis</i> .
Björk = <i>Betula alba</i> .	Ljung = <i>Calluna vulgaris</i> .
Björkvintergröna = <i>Pyrola secunda</i> .	Majsmörblomma = <i>Ranunculus auricomus</i> .
Björnbär = <i>Rubus fruticosus</i> coll.	Maskros = <i>Taraxacum</i> .
Björnmossa = <i>Polytrichum commune</i> .	Midsommarsblomster = <i>Geranium silvaticum</i> .
Blåbär(sris) = <i>Vaccinium myrtillus</i> .	Mjölke = <i>Chamænerium angustifolium</i> .
Stor blåklocka = <i>Campanula persicæfolia</i> .	Mjuktåtel = <i>Holcus</i> .
Blåsstarr = <i>Carex vesicaria</i> .	Nässla = <i>Urtica dioica</i> .
Blååtel = <i>Molinia cærulea</i> .	Ormrot = <i>Polygonum viviparum</i> .
Blodrot = <i>Potentilla erecta</i> .	Pors = <i>Myrica gale</i> .
Bok = <i>Fagus silvatica</i> .	Ramslök = <i>Allium ursinum</i> .
Borstistel = <i>Cirsium heterophyllum</i> .	Renlav = <i>Cladina</i> .
Buskstjärnblomma = <i>Stellaria holostea</i> .	Revlummer = <i>Lycopodium annotinum</i> .
Duvkulla = <i>Tridentalis europæa</i> .	Rönn = <i>Sorbus aucuparia</i> .
Dvärgbjörk = <i>Betula nana</i> .	Rosling = <i>Andromeda polifolia</i> .
Ek = <i>Quercus</i> .	Skogsbingel = <i>Mercurialis perennis</i> .
Ekbräken = <i>Dryopteris Linnæana</i> .	Skogsbräken = <i>Dryopteris spinulosa</i> .
Ekorrbär = <i>Majanthemum bifolium</i> .	Skogsfibla = <i>Hieracium murorum</i> L.
En, enbuskar = <i>Juniperus communis</i> .	Skogskovall = <i>Melampyrum silvaticum</i> .
Färkummer = <i>Geum rivale</i> .	Skogssallat = <i>Lactuca muralis</i> .
Fjälltolta = <i>Mulgedium alpinum</i> .	Småvintergröna = <i>Pyrola minor</i> .
Fräken = <i>Equisetum</i> .	Snip = <i>Eriophorum alpinum</i> .
Gråal = <i>Alnus incana</i> .	Solöga = <i>Ranunculus acer</i> .
Gran = <i>Picea excelsa</i> .	Spindelblomster = <i>Listera cordata</i> .
Groblad = <i>Plantago major</i> .	Stagg = <i>Nardus stricta</i> .
Gullris = <i>Solidago virgaurea</i> .	Starr = <i>Carex</i> .
Hagtorn = <i>Cratægus</i> .	Stenhallon = <i>Rubus saxatilis</i> .
Hallon = <i>Rubus idæus</i> .	Stjärnmossa = <i>Astrophyllum</i> .
Harsyra = <i>Oxalis acetosella</i> .	Stor blåklocka = <i>Campanula persicæfolia</i> .
Hassel = <i>Corylus avellana</i> .	Tall = <i>Pinus silvestris</i> .
Häxört = <i>Circea</i> .	Tuvtåtel = <i>Aira cæspitosa</i> .
Hjortron = <i>Rubus chamæmorus</i> .	Trekantmossa = <i>Hylocomium triquetrum</i> .
Hönsbär = <i>Cornus suecica</i> .	Trollbär = <i>Paris quadrifolia</i> .
Hultbräken = <i>Dryopteris phegopteris</i> .	Vänderot = <i>Valeriana officinalis</i> .
Islandslav = <i>Cetraria islandica</i> .	Vårfryle = <i>Luzula pilosa</i> .
Jämma = <i>Lycopodium complanatum</i> .	Ven = <i>Agrostis</i> .
Kammossa = <i>Hypnum crista castrensis</i> .	Viden = <i>Salices</i> .
Kärrviol = <i>Viola palustris</i> .	Vitmossor = <i>Sphagna</i> .
Kirskål = <i>Aegopodium podagraria</i> .	Vitsippa = <i>Anemone nemorosa</i> .
Klockljung = <i>Erica tetralix</i> .	Örnbräken = <i>Pteridium aquilinum</i> .

Einige andere Termini: Boden: blekjord = Bleicherde; mark = Boden; jord = Erde; råhumus = Rohhumus; rostjord = Kosterde. Bodendecke: mossdyna = Moospolster; naken = nackt; tuva = Polster. Frekvens: enst, enstaka = einzeln; fläckvis = fleckenweise; rätt mycket = ziemlich viel; rikl., rikligt = reichlich; sparsamt = spärlich; ymnig = abundant. Feuchtigheit: blöt = sehr nass; fuktig = feucht; torr = trocken; våt = nass. Konsistenz: bladig = blätterig; fast = fest; lucker = locker; seg = zäh.